

# **Exploração de Instalações Elétricas Industriais com Esquema de Ligação à Terra TN**

**SÉRGIO MANUEL CORREIA VIEIRA**

novembro de 2017

# Exploração de Instalações Elétricas Industriais com Esquema de Ligação à Terra TN

Sérgio Manuel Correia Vieira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2016-2017**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Sérgio Manuel Correia Vieira, Nº 1110096, 1110096@isep.ipp.pt

Orientação científica: António Gomes, aag@isep.ipp.pt

Empresa: Continental – Industria Têxtil do Ave S.A.

Supervisão: Joaquim Rocha, Joaquim.rocha@conti.de



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2016-2017**





## *Agradecimentos*

Agradeço à Eng<sup>a</sup> Teresa Nogueira e Eng<sup>o</sup> António Gomes pelas condições geradas para que este estágio fosse possível.

Ao Eng<sup>o</sup> Joaquim Rocha pela orientação e disponibilidade demonstrada ao longo de todo o período de estágio, seja no acompanhamento da dissertação como na introdução de novos temas e desafios que levaram ao meu crescimento nesta área tão abrangente que é a Engenharia Eletrotécnica.

Aos membros do Departamento de Engenharia, Eng<sup>o</sup> Rafael Castro, Eng<sup>o</sup> José Ricardo e Eng<sup>o</sup> Diogo Nunes pelo acolhimento e ajuda demonstrada, assim como a todos os colegas de estágio que passaram pela C-ITA durante este período que ajudaram na minha integração na empresa e na criação de um bom ambiente.

Finalmente, um agradecimento especial aos meus pais e à minha namorada pela confiança depositada em mim e apoio incansável durante todo este percurso académico.



## *Resumo*

As instalações da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. datam de 1948 pelo que a sua instalação elétrica tem vindo a sofrer constantes evoluções ao longo do tempo. A crescente competitividade do mercado leva à necessidade de aumentar o volume de produção da unidade fabril pelo que a aquisição de novas máquinas e a remodelação do layout produtivo tendo sido constante ao longo dos últimos anos.

Numa instalação elétrica em constante evolução e expansão é de extrema importância garantir que todas as alterações idealizadas estão de acordo com as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão principalmente no que diz respeito à proteção de pessoas contra contactos indiretos visto se tratar de uma instalação com Esquema de Ligação à Terra do tipo TN sem proteção diferencial.

O objetivo deste trabalho passa por efetuar o levantamento da instalação elétrica da unidade fabril para confirmação das condições de dimensionamento tendo sido criado para o efeito uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de instalações elétricas para facilitar o trabalho de verificação da instalação atual. Além da verificação da instalação atual, a ferramenta permite verificar a conformidade de novas alterações idealizadas para a instalação elétrica.

Durante o trabalho de levantamento e verificação do dimensionamento foram encontradas várias não conformidades tendo sido efetuadas medidas corretivas e propostas de soluções para as situações encontradas.

### *Palavras Chave*

Instalações elétricas, manutenção, exploração, contactos indiretos, esquema de ligação à terra, TN, dimensionamento



## *Abstract*

The facilities of Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A. date back to 1948, so that its electrical installation has undergone constant evolution over time. The increasing competitiveness of the market leads to the need to increase the production volume of the manufacturing plant. To do so, acquiring new machines and remodeling the production layout has been constant over the last years.

In a constantly evolving and expanding electrical installation, it is extremely important to ensure that all idealized changes are in accordance with the Technical Rules for Low Voltage Electrical Installations (RTIEBT), especially regarding the protection of persons against indirect contacts since it is a facility with Earth connection diagram of type TN without differential protection.

The goal of this work is to carry out a data collection of the electrical installation of the plant to confirm the sizing conditions. To make this easier a tool was created to help with the data management and facilitate the verification work of the current electrical installation. In addition to verifying the current installation, the tool allows you to check the conformity of new idealized changes do the electrical installation.

During the work of surveying and verification of the design of the electrical installation several nonconformities were found and corrective measures were taken and solutions were proposed for the situations encountered.

### ***Keywords***

Electrical installations, maintenance, operation, indirect contacts, earthing scheme, TN, design



# *Índice de Conteúdos*

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE CONTEÚDOS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1INTRODUÇÃO .....	1
1.2OBJETIVOS.....	2
1.3CALENDARIZAÇÃO .....	2
1.4APRESENTAÇÃO DA EMPRESA .....	2
1.5APRESENTAÇÃO DOS INTERVENIENTES .....	4
1.5.1 <i>Aluno</i> .....	4
1.5.2 <i>Orientador no Instituto Superior de Engenharia do Porto</i> .....	4
1.5.3 <i>Orientador na Continental Industria Têxtil do Ave</i> .....	4
1.6ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	5
<b>2 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>7</b>
2.1ASPETOS GERAIS .....	7
2.2ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR .....	7
2.3RISCOS ASSOCIADOS À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	8
2.3.1 <i>Aspetos gerais</i> .....	8
2.3.2 <i>Efeitos da passagem de corrente elétrica no corpo humano</i> .....	8
2.3.3 <i>Contactos diretos</i> .....	11
2.3.4 <i>Contactos indiretos</i> .....	12
2.3.5 <i>Risco de incêndio</i> .....	13
2.4ESQUEMAS DE LIGAÇÃO À TERRA .....	14
2.4.1 <i>Aspetos gerais</i> .....	14
2.4.2 <i>Esquema TT</i> .....	17
2.4.3 <i>Esquema TN</i> .....	19
2.4.3.1 <i>Esquema TN-C</i> .....	22



2.4.3.2	Esquema TN-S.....	24
2.4.3.3	Variante TN-C-S.....	24
2.4.4	Esquema IT.....	26
2.4.5	Comparação dos esquemas de ligação à terra.....	29
2.4.6	Ligações Equipotenciais.....	30
2.5	PROTEÇÃO DIFERENCIAL .....	32
2.5.1	Seletividade entre diferenciais.....	34
2.5.2	Disparos intempestivos de dispositivos diferenciais .....	36
2.6	QUALIDADE DE ENERGIA E CONTINUIDADE DE SERVIÇO.....	38
2.6.1	Aspetos gerais.....	38
2.6.2	Distorção Harmónica.....	38
2.6.3	Efeito pelicular .....	42
2.6.4	Fator de Crista .....	43
2.6.5	Cava de Tensão.....	44
2.6.6	Sobretensões transitórias .....	45
2.6.7	Efeitos da distorção harmónica em transformadores .....	45
2.6.8	Fator de Potência e $\cos \varphi$ .....	46
2.6.9	Filtros passivos de harmónicos .....	49
2.7	DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO .....	50
2.7.1	Aspetos gerais.....	50
2.7.2	Corrente de serviço e corrente admissível .....	51
2.7.3	Condições de Queda de tensão.....	52
2.7.4	Proteção contra sobreintensidades.....	53
2.7.4.1	Dispensa da proteção contra sobrecargas.....	55
2.7.5	Curto circuitos.....	55
2.7.5.1	Curto-circuito no secundário do transformador .....	56
2.7.5.2	Curto circuito no caso de vários transformadores em paralelo .....	57
2.7.5.3	Curto circuito trifásico em qualquer ponto da instalação .....	58
2.7.6	Dimensionamento do condutor de neutro.....	58
2.7.7	Canalizações pré-fabricadas.....	60
2.7.8	Paralelo de condutores .....	61
2.7.9	Dimensionamento de instalações equipadas com grupo gerador.....	62
<b>3</b>	<b>TRABALHO PRÁTICO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>65</b>
3.1	ASPETOS GERAIS .....	65
3.2	DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS EM INSTALAÇÕES COM ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA TN.....	66
3.2.1	Aspetos gerais.....	66
3.2.2	Justificação e requisitos.....	66
3.2.3	Arquitetura .....	68
3.2.4	Verificação e validação do software desenvolvido .....	82

3.3LEVANTAMENTO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS, IDENTIFICAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES E PROPOSTAS DE RESOLUÇÃO .....	86
3.3.1 Aspetos Gerais.....	86
3.3.2 Distribuição de energia em Média Tensão .....	87
3.3.2.1 Ligação à rede publica.....	87
3.3.2.2 Rede de Média Tensão.....	89
3.3.2.3 Posto de transformação 1 .....	90
3.3.2.4 Posto de transformação 2 .....	92
3.3.2.5 Posto de transformação 3 .....	93
3.3.2.6 Posto de transformação 4 .....	94
3.3.2.7 Rede de terras.....	94
3.3.2.8 Corrente de curto circuito máxima .....	95
3.3.3 Distribuição de energia em baixa tensão.....	97
3.3.3.1 Aspetos gerais .....	97
3.3.3.2 Quadro geral de baixa tensão 1.....	100
3.3.3.2.1 Caraterização da infraestrutura .....	100
3.3.3.2.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas .....	101
3.3.3.3 Quadro geral de baixa tensão 2.....	105
3.3.3.3.1 Caraterização da infraestrutura .....	105
3.3.3.3.2 Não conformidades detetadas .....	106
3.3.3.3.3 Utilização da capacidade disponível do QGBT.....	107
3.3.3.3.4 Desclassificação do transformador segundo Norma CENELEC – EN 50464-3:2007 .....	110
3.3.3.3.5 Sistema de ventilação forçada - PT1 .....	114
3.3.3.4 Quadro geral de baixa tensão 3 e 4 .....	115
3.3.3.4.1 Caraterização da infraestrutura .....	115
3.3.3.4.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas .....	116
3.3.3.5 Quadro geral de baixa tensão 5 .....	118
3.3.3.5.1 Caraterização da infraestrutura .....	118
3.3.3.5.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas .....	119
3.3.3.6 QGBT 6.....	121
3.3.3.6.1 Caraterização da infraestrutura .....	121
3.3.3.6.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas .....	121
3.3.4 Alimentação de socorro .....	123
3.3.4.1 Solução proposta para nova alimentação do Quadro Geral do Grupo Gerador.....	125
3.3.4.2 Proteção dos circuitos alimentados pelo grupo gerador .....	130
3.3.4.3 Sugestão para novo Quadro de Distribuição do QDG.....	131
3.3.5 Análise de gases dissolvidos no óleo do transformador.....	133
3.3.6 Monitorização de consumos de energia.....	137
3.3.6.1 Separação de Custos Fixos e Custos Variáveis.....	138
3.3.7 Novos Sistemas de Correção de Fator de Potência.....	140
3.4MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	144
3.4.1 Aspetos gerais .....	144
3.4.2 Manutenção preventiva anual .....	144
3.4.3 Medição da resistência de terra .....	147

3.4.4	<i>Análise Termográfica.....</i>	<i>149</i>
3.5	INSTALAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	151
3.5.1	<i>Aspetos gerais.....</i>	<i>151</i>
3.5.2	<i>Proteção de pessoas contra contactos indirectos .....</i>	<i>152</i>
3.5.3	<i>Risco de incêndio num sistema fotovoltaico .....</i>	<i>152</i>
3.5.4	<i>Propostas para sistema de produção fotovoltaica para autoconsumo.....</i>	<i>153</i>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>157</b>
4.1	CONCLUSÃO .....	157
4.2	COMPONENTE ACADÉMICA.....	158
4.3	TRABALHOS FUTUROS .....	159
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>161</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>163</b>
6.1	FOLHAS DE DIMENSIONAMENTO FINAIS DOS CIRCUITOS ANALISADOS .....	163

## *Índice de Figuras*

Figura 1 – Vista exterior da máquina de impregnar tela para pneus .....	3
Figura 2 – Consequências da passagem de corrente no corpo humano [3] .....	9
Figura 3 – Consequências da passagem da corrente no corpo humano [3] .....	10
Figura 4 – Contacto direto [3] .....	12
Figura 5 – Contacto indireto [3] .....	12
Figura 6 – Tensão de contacto [3].....	13
Figura 7 - Malha de defeito no esquema TT [3] .....	17
Figura 8 – Esquema TN nas vertentes TN-C e TN-S [3] .....	20
Figura 9 – Malha de defeito no esquema TN-C [3] .....	22
Figura 10 – Esquema TN-C-S [3].....	25
Figura 11 – Corrente de defeito no esquema IT [3].....	26
Figura 12 – Malha de defeito com dois defeitos a ocorrer em simultâneo com todas as massas da instalação ligadas ao mesmo eléctrodo de terra [3].....	27
Figura 14 – Soluções não aceitáveis em termos de EMC e segurança [3] .....	31
Figura 15 – Instalação com múltiplos eléctrodos de terra ligados entre si [3] .....	31
Figura 16 – Princípio de funcionamento de um dispositivo diferencial [3] .....	33
Figura 17 – Diagrama vetorial trifásico [4] .....	34
Figura 18 – Curvas de disparo de vários dispositivos diferenciais [4].....	35
Figura 19 – Capacidade entre condutores [4] .....	37
Figura 20 – UPS – (Uninterruptible Power Supply) .....	39
Figura 21 – Diferença entre a forma de onda de uma carga linear e não linear [9].....	40
Figura 22 – Contactor de bateria de condensadores danificado por sobreaquecimento.....	42
Figura 23 – Forma de onda típica de uma lâmpada fluorescente compacta [3].....	44
Figura 24 – Triângulo das potências .....	48
Figura 25 – Queda de tensão máxima admissível [1] .....	53
Figura 26- Proteção de circuito por disjuntor .....	54
Figura 27 – Corrente de curto-circuito quando alimentado por transformadores em paralelo ....	57
Figura 28 – Carga do condutor de neutro vs percentagem de distorção harmónica [3] .....	59
Figura 29 – Distribuição centralizada e não centralizada [3] .....	61
Figura 30 – Fases de um curto-circuito [6] .....	62
Figura 31 – Introdução de dados relativos à origem da instalação .....	69
Figura 32 – Userform principal onde são introduzidos todos os dados necessários ao dimensionamento da alimentação eléctrica .....	69
Figura 33 – Escolha do método de referência .....	71

Figura 34 – Extrato de código para determinar em que linha se adicionará a nova saída .....	72
Figura 35 – Extrato de código que demonstra a colocação dos dados na tabela Excel.....	73
Figura 36 – Exemplo de tabela em base de dados com correntes admissíveis segundo as RTIEBT .....	74
Figura 37 – Extrato de código referente à determinação da variável “L” .....	74
Figura 38 – Extrato de código para determinação da secção mínima com corrente admissível superior à corrente nominal do dispositivo de proteção .....	76
Figura 39 – Diferente range para restantes quadros de correntes admissíveis .....	76
Figura 40 – Extrato de código para aumentar secção enquanto não forem cumpridas as condições de dimensionamento .....	77
Figura 41 – Extrato de código do script “aumentar_seccao”. .....	78
Figura 42 – Excerto da tabela de dimensionamento do QGBT 5 .....	78
Figura 43 – Excerto de código para formatação da tabela final .....	79
Figura 44 – Formula Excel para determinação do fator de depreciação por temperatura .....	79
Figura 45 – Fatores de correção a aplicar em função da temperatura ambiente ou temperatura do solo para condutores enterrados segundo as RTIEBT .....	80
Figura 46 – Fórmula Excel para determinar valor de resistência dos circuitos a montante .....	80
Figura 47 – Verificação da resistência a montante .....	81
Figura 48 – Dados para determinação da impedância da rede de média tensão.....	82
Figura 49 – Resultados obtidos nas três ferramentas (Ecodial à esquerda, Simaris à direita e Excel em baixo) .....	85
Figura 50 – Vista geral da subestação da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.....	88
Figura 51- Contador de energia da subestação da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A ...	88
Figura 52 – Desenho da rede de distribuição em média tensão da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A. ....	89
Figura 53 – Celas de média tensão do posto de transformação 1 (PT1) .....	91
Figura 54 – Transformadores constituintes do posto de transformação 1 .....	91
Figura 55 – Visão geral do posto de transformação 2.....	92
Figura 56 – Cella MT e transformador do PT3 .....	93
Figura 57 – Disjuntor MT de proteção do transformador do PT3 .....	93
Figura 58 – Celas de MT e Transformador do PT4.....	94
Figura 59 – Exemplo de máquina produtiva .....	99
Figura 60 – Quadro Geral de Baixa Tensão 1 .....	100
Figura 61 – Terminal principal de terras com terra única .....	101
Figura 62 – Chapa de características do quadro geral de baixa tensão 1 .....	101
Figura 63 – Disjuntores sem poder de corte adequado (apenas 6kA).....	102
Figura 64 – Sistema de correção de fator de potência ligado diretamente ao barramento .....	102
Figura 65 – Tabela de dimensionamento dos circuitos do QGBT 1 e respetivos quadros parciais .....	103
Figura 66 – Eliminação da secção que constituía o sistema de correção de fator de potência ..	104

Figura 67 – QGBT 2 e transformador que o alimenta.....	105
Figura 68 – Esquema unifilar de distribuição do QGBT 2.....	106
Figura 69 – Tabela de dimensionamento dos circuitos alimentados pelo QGBT 2.....	107
Figura 70 – Chapa de características do transformador .....	108
Figura 71 – Espectro harmónico antes de adicionar o novo quadro .....	111
Figura 72 – Espectro harmónico após alimentação do novo quadro.....	112
Figura 73 – Dimensionamento da alimentação do Quadro de Ventilação do PT1 .....	115
Figura 74 – Trabalhos de instalação de condutas do sistema de ventilação forçada no posto de transformação 1 .....	115
Figura 75 – Esquema unifilar desde o transformador ao quadro de distribuição.....	116
Figura 76 – QDF3.01/4.01 - Quadro de distribuição do PT2 alimentado pelo QGBT 3 e 4 .....	116
Figura 77 – Tabela de dimensionamento das saídas existentes no QDF3.01 / QDF4.01 .....	117
Figura 78 – Disjuntor de reserva totalmente regulável à esquerda do disjuntor utilizado .....	117
Figura 79 – Esquema Unifilar de distribuição do QGBT 5 .....	118
Figura 80 – Tabela de dimensionamento do QGBT 5 e quadro parcial Q8 .....	119
Figura 81 – Esquema unifilar da alimentação do Q8 .....	120
Figura 82 – Esquema unifilar do QGBT 6 .....	121
Figura 83 – Folha de dimensionamento das saídas do QGBT 6 na situação inicial .....	122
Figura 84 – Grupo Gerador Diesel.....	123
Figura 85 – Esquema unifilar da alimentação do quadro do grupo gerador.....	124
Figura 86 – Análise termográfica ao disjuntor .....	125
Figura 87 – Percurso entre o QDF 4.01 e o QDG.....	127
Figura 88 – Folha de dimensionamento da nova alimentação do quadro do grupo gerador .....	128
Figura 89 – Esquema unifilar da alimentação do QDG .....	128
Figura 90 – Trabalhos de instalação de caminho de cabos e passagem de cabos .....	129
Figura 91 – Passagem da nova cablagem de alimentação do QDG .....	129
Figura 92 – Tabela de dimensionamento quando em funcionamento através do gerador.....	131
Figura 93 – Verificação das condições de dimensionamento da alimentação do QDG.....	132
Figura 94 – Sugestão para o novo QDG a implementar no futuro.....	132
Figura 95 – Recolha de óleo para análise.....	134
Figura 96 – Evolução da concentração de Etano no óleo do transformador até Fev-17 .....	134
Figura 97 – Valores limite para a concentração de gás dissolvido no óleo [14].....	135
Figura 98 – Transformador desmontado para apreciação nas instalações do fabricante.....	137
Figura 99 – Analisador de Energia instalado num quadro de distribuição.....	137
Figura 100 – Sistema de monitorização de consumos energéticos e qualidade de energia .....	138
Figura 101 – Comparação de tamanho entre quadro de CFP existente e novo quadro (com o mesmo número de escalões físicos) .....	143
Figura 102 – Ensaio ao disjuntor MT e limpeza do transformador .....	146

Figura 103 – Manutenção à subestação .....	147
Figura 104 – Localização dos elétrodos para a medição da resistência de terra.....	148
Figura 105 – Valor obtido através do método dos 62%.....	149
Figura 106 – Extrato de relatório de termografia .....	151
Figura 107 – Implementação do sistema fotovoltaico na cobertura aproveitando a inclinação e orientação existente .....	154
Figura 108 – Constituição de um sistema fotovoltaico [15].....	155

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 – Tempos máximos de atuação das proteções para o esquema TT .....	18
Tabela 2 – Compensação da resistência para o aumento da reactância [3] .....	22
Tabela 3 – Tempos máximos de atuação das proteções para o esquema TN .....	23
Tabela 4 – Comparação dos Esquemas de Ligação à Terra [3] .....	29
Tabela 5 – Níveis máximos de distorção harmónica na tensão segundo a Norma IEC 61000-2-4 .....	40
Tabela 6 – Quedas de tensão máximas admissíveis [1] .....	52
Tabela 7- Fator de depreciação a aplicar no dimensionamento de cabos com correntes harmónicas de acordo com a IEC 60364-5-52.....	60
Tabela 8 – Exemplo de reactâncias (%) a considerar no curto circuito de um gerador [3] .....	63
Tabela 9 – Comparação de resultados das correntes de curto circuito (kA) em vários pontos da rede .....	83
Tabela 10 – Postos de transformação e principais características existentes na indústria Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A .....	89
Tabela 11 – Valores de ensaio do transformador.....	108
Tabela 12 – Potência absorvida pelas máquinas alimentadas através do QGBT 2.....	109
Tabela 13 – Espectro Harmónico da corrente e respetivos cálculos ( $I_{ef} = 989 A$ ) .....	111
Tabela 14 – Espectro Harmónico da corrente e respetivos cálculos ( $I_{ef} = 1466 A$ ) .....	113
Tabela 15 – Distribuição da temperatura entre as fases dos transformadores .....	126
Tabela 16 – Diferença na distorção harmónica com o sistema de correção de fator de potência ligado e desligado.....	141





## *Lista de Acrónimos*

BT	Baixa Tensão
CFP	Correção de fator de potência
C-ITA	Continental – Indústria Têxtil do Ave
ELT	Esquema de ligação à terra
IEC	International Electrotechnical Commission
IT	Neutro do transformador isolado e massas ligadas à terra
MT	Média tensão
PE	Condutor de proteção elétrica
PEN	Condutor de neutro com função de proteção
PT	Posto de transformação
QDF	Quadro de distribuição de força
QDG	Quadro de distribuição do Gerador
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RTIEBT	Regras técnicas de instalações elétricas de baixa tensão
THD	Distorção harmónica total
TN	Neutro do transformador ligado à terra e massas ligadas ao neutro
TN-C	Neutro do transformador ligado à terra e massas ligadas ao neutro desempenhando este a função de proteção elétrica
TN-S	Neutro do transformador ligado à terra e massas ligadas ao neutro existindo condutor de proteção distribuído
TT	Neutro do transformador ligado à terra e massas à terra



# 1 Introdução

## 1.1 Introdução

A eletricidade é o coração da exponencial expansão tecnológica que se tem vindo a assistir nas ultimas décadas. Os meios modernos de transporte e comunicação foram revolucionados pela eletricidade. Desde veículos elétricos, como comboios, a equipamentos elétricos de comunicação como telemóveis e computadores, que além de poderem ser usados para entretenimento, são hoje em dia equipamentos fulcrais no desenvolvimento das indústrias.

A eletricidade é a forma de energia mais importante nos processos produtivos das indústrias. De forma a responder à crescente competitividade do mercado as indústrias operam no máximo das suas capacidades produtivas. Com as máquinas produtivas a trabalhar no limite das suas capacidades o risco de ocorrerem falhas aumenta drasticamente o que pode colocar em risco os objetivos de produção da unidade fabril assim como a segurança das pessoas.

Nas indústrias a manutenção das instalações elétricas e a verificação do seu bom estado de funcionamento e correto dimensionamento, de acordo com os regulamentos em vigor, são o ponto chave na garantia da continuidade de serviço e da segurança para os seus utilizadores.

Com a expansão das unidades fabris de forma a responder à procura de mercado, muitas vezes a segurança de pessoas e bens é desprezada em detrimento das necessidades de produção. Desde alimentações subdimensionadas, medidas de proteção insuficientes, esquemas elétricos que não são atualizados à medida que são feitas as intervenções, são algumas das não conformidades encontradas recorrentemente nas indústrias.

De forma a minimizar os riscos associados à utilização de energia elétrica assim como garantir a continuidade de serviço, é necessário efetuar ações de manutenção periódicas e garantir que a instalação elétrica e todas as intervenções idealizadas estão de acordo com os regulamentos legais em vigor.

## **1.2 Objetivos**

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, ministrado pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Tendo como caso de estudo a instalação elétrica da unidade fabril da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A, pretende-se efetuar um levantamento da instalação elétrica da unidade fabril de modo a verificar a conformidade legal dos alimentadores elétricos de todos os equipamentos produtivos e auxiliares, no que diz respeito à proteção de pessoas contra contactos indiretos na ausência de dispositivos diferenciais, visto se tratar uma instalação com o esquema de ligação à terra do tipo TN.

Para o efeito será desenvolvida uma ferramenta de auxílio ao dimensionamento e verificação de conformidade de instalações elétricas que garanta que a instalação elétrica de baixa tensão existente, e as alterações que se venham a efetuar à mesma, garantam a proteção contra contactos indiretos tendo em conta o que está regulamentado nas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

## **1.3 Calendarização**

Este trabalho foi desenvolvido sobre a forma de estágio curricular no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, nas instalações da Continental – Indústria Têxtil do Ave, SA, em Lousado, tendo início a dia 2 de Novembro de 2016 e terminando em 29 de Setembro de 2017.

## **1.4 Apresentação da empresa**

A Indústria Têxtil do Ave (ITA), inicialmente designada por INTEx, foi fundada por Henrique Malheiro a 16 de Dezembro de 1948, sendo que este projeto foi pensado para produção de telas que servissem para reforçar a estrutura do pneu fabricado na Mabor.

Na história da ITA temos algumas datas fulcrais no desenvolvimento desta, 1950 foi o início da atividade do uso do algodão para a produção das telas e no ano subsequente (1951) foi introduzida na fábrica a primeira secção de fiação.

Em 1958 *rayon*, *dip* e *dry*, eram tecidos usados para um acabamento final de forma a garantir uma melhor adesão dos componentes de borracha ao tecido, sendo que tudo isto era conseguido através de uma nova tecnologia que foi implementada na fábrica.

No período de 1962 a 1963 a matéria-prima voltou a ser substituída por novos produtos de síntese, como a poliamida/nylon também de elevada tenacidade, que serviam de base dos tecidos de reforço na construção dos pneus, sendo que houve novamente mudanças inovadoras de tecnologias a nível de técnicas de fabrico nomeadamente com a torcedura e tecelagem.

Na década de 70/80 foi instaurado um novo projeto inovador que fez aumentar a capacidade de produção da indústria a nível do setor de torcedura e também na aquisição de mais uma nova máquina de impregnar.

Em 1987 foi dado como encerrada a área de fiação e tecelagem do algodão na empresa, pois este foi deixado de ser utilizado na indústria dos pneus.

Em 1988 o Banco Borges & Irmão vendeu ao grupo Amorim a sua participação na INTEX fazendo assim que a partir dessa data a empresa se chamasse ITA.

Em 1992 foi adquirida a máquina mais importante do processo produtivo da ITA, a máquina de impregnar tela para pneus. A figura 1 mostra uma vista exterior da máquina de impregnar tela para pneus.



Figura 1 – Vista exterior da máquina de impregnar tela para pneus

Em 1993, a ITA foi considerada umas das primeiras empresas a conseguir o certificado do Sistema de Gestão da Qualidade (norma ISO9002) e em 1998 o certificado do Sistema de Gestão Ambiental (norma ISO14001).

Em 2008 foi iniciada a realização da impregnação de corda e em 2012 foi iniciada uma nova linha de produção, a secção de malhas. Esta secção resultou da estratégia de duas empresas do grupo Continental, a ITA e a *Benecke-Kalicko* (BK), produtora de materiais de revestimento sintético para interiores de automóveis.

Finalmente em 2013, a ITA passou a denominar-se: Continental – Industria Têxtil do Ave, S.A.

Atualmente a C-ITA tem uma área total de 52 329 m<sup>2</sup>, dos quais 30153m<sup>3</sup> em área coberta, tem uma produção anual de 14 mil toneladas de tecidos e cordas para pneus, sendo que na produção destes são utilizadas as matérias primas: rayon, nylon, poliéster e aramida.

## **1.5 Apresentação dos intervenientes**

### **1.5.1 Aluno**

O autor deste trabalho é Sérgio Manuel Correia Vieira. Frequentou o ensino secundário na Escola Secundária Carlos Amarante, em Braga, onde fez o curso Profissional de Técnico de Instalações Elétricas, no período de 2008-2011. Nesse mesmo ano ingressou no Instituto Superior de Engenharia do Porto na licenciatura de Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia tendo prosseguido para o Mestrado da mesma área de estudo.

### **1.5.2 Orientador no Instituto Superior de Engenharia do Porto**

O presente trabalho foi orientado, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) pelo Eng.º António Gomes, docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica e subdiretor da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia.

### **1.5.3 Orientador na Continental Industria Têxtil do Ave**

O estágio em ambiente empresarial associado à realização deste trabalho foi orientado pelo Eng.º Joaquim Rocha, Diretor do Departamento de Engenharia da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.

## **1.6 Organização do relatório**

Esta dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos. O primeiro capítulo “Introdução” é dedicado à apresentação do aluno, dos orientadores do trabalho, tanto a nível curricular como empresarial, e da empresa na qual foi realizado o projeto que dá origem a este relatório.

No segundo capítulo “Instalações Elétricas Industriais” são abordados os temas teóricos que fundamentam o trabalho desenvolvido nesta dissertação, começando por uma introdução aos riscos associados à utilização da energia elétrica e a importância do Esquema de Ligação à Terra. Neste âmbito é abordado o tema da qualidade de energia e continuidade de serviço terminando numa análise das condições necessárias para um correto dimensionamento de instalações elétricas.

O terceiro capítulo “Trabalho Prático Desenvolvido” é referente à exposição do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação em formato de estágio curricular em ambiente empresarial, desde o levantamento da instalação elétrica da unidade fabril da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. aos problemas e dificuldades encontrados. São apresentadas as características gerais da instalação elétrica, as várias não conformidades encontradas e quais as medidas corretivas tomadas ou sugestões de correções apresentadas. Também neste capítulo é apresentada a ferramenta de auxílio ao dimensionamento desenvolvida.

No quarto e último capítulo, “Conclusões”, são apresentadas as conclusões retiradas durante a elaboração desta dissertação.





## **2 Instalações Elétricas Industriais**

### **2.1 Aspetos gerais**

De forma a responder às necessidades de produção e de forma a maximizar os lucros e minimizar os custos de produção, as máquinas produtivas das indústrias trabalham no limite das suas capacidades. A ocorrência de uma falha na alimentação de uma máquina pode ter consequências muito negativas na produção da unidade fabril devido à paragem da produção. Uma canalização mal dimensionada pode colocar a segurança e proteção de pessoas e bens em risco.

Para minimizar os riscos associados à utilização de uma instalação elétrica é necessário regulamentar e verificar as instalações elétricas desde o projeto, execução e durante todo o período em que estão a ser exploradas.

A segurança das pessoas deve ser sempre a prioridade no dimensionamento de uma instalação elétrica industrial, devendo-se assegurar o cumprimento das normas aplicáveis ao projeto, execução e exploração da instalação. A energia elétrica apresenta riscos que se não forem corretamente avaliados podem colocar as pessoas em risco de choque elétrico assim como a ocorrência de danos materiais em equipamentos que por sua vez podem levar a incêndios ou explosões.

A escolha do Esquema de Ligação à Terra é hoje mais importante do que nunca devido aos crescentes problemas de qualidade de energia causados pela utilização em massa de equipamentos que causam perturbações na qualidade de energia que levam à ocorrência de problemas que nem sempre são de fácil resolução.

### **2.2 Enquadramento Regulamentar**

Para a garantia de um bom funcionamento e segurança das instalações elétricas deve-se ter em conta os regulamentos existentes, que para o tipo de instalações elétricas industriais existentes em Portugal podem-se indicar dois regulamentos principais:

- Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), previstas pelo Decreto-Lei n.º 226/2005, 28 de Dezembro e publicadas pela Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de Setembro;

- Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS), publicado pelo Decreto-Lei nº 42895, de 31 de março de 1960, alterado pela Portaria nº 37/70, de 17 de Janeiro, pelo Decreto-Lei nº 14/77, de 18 de Fevereiro e pelo Decreto Regulamentar nº 56/85, de 5 de Setembro.

## **2.3 Riscos associados à utilização de energia elétrica**

### **2.3.1 Aspetos gerais**

De forma a garantir o correto funcionamento da instalação de forma segura do ponto de vista da proteção das pessoas assim como da segurança da própria instalação, todos os condutores ativos e componentes do equipamento que possam ser sujeitos a uma diferença de potencial devem ser isolados das massas dos respetivos equipamentos, que por sua vez deverão estar ligadas à terra através dos condutores de proteção.

O isolamento é caracterizado pela diferença de potencial que suporta sem quebrar a sua rigidez dielétrica. Deve ser utilizado um isolante com características que correspondam ao fim a que se destina, contudo, as características do material depreciam à medida que a instalação envelhece. As condições do ambiente onde a canalização se insere podem potenciar o envelhecimento do isolamento dos condutores.

A ocorrência de sobrecargas leva ao consequente aquecimento do isolamento. Os esforços eletrodinâmicos durante um curto circuito ou descargas atmosféricas são também causas comuns das falhas de isolamento, assim como a deposição de poeiras que limitam a ventilação das canalizações.

As falhas de isolamento podem ocorrer a qualquer momento, sejam elas entre condutores ativos ou entre um condutor ativo e a massa. O papel do esquema de ligação à terra é garantir que a segurança da instalação e dos seus utilizadores ficará salvaguardada na eventualidade da ocorrência de uma falha de isolamento.

### **2.3.2 Efeitos da passagem de corrente elétrica no corpo humano**

A norma IEC 60479 fornece um vasto conjunto de informações fundamentais relativos aos efeitos da corrente elétrica sobre o homem e animais domésticos, que servem de referência

para o estabelecimento das prescrições de segurança elétrica, como por exemplo as características de funcionamento dos dispositivos de proteção nas instalações elétricas.

Na primeira parte aborda aspetos gerais do assunto e numa segunda parte efetua uma caracterização da impedância do corpo humano. Na terceira parte aborda os efeitos no corpo humano da corrente elétrica alternada para valores de frequência compreendidos entre 15 Hz e 100Hz e finalmente na quarta parte aborda os efeitos no corpo humano da corrente contínua. [3]

Um dos riscos da falha de isolamento é colocar a vida das pessoas em risco. O choque elétrico é o efeito resultante da passagem de corrente elétrica pelo corpo humano e as suas consequências dependem essencialmente da sua intensidade e do tempo de passagem.

A corrente que flui depende da tensão de contacto a que a pessoa fica sujeita, assim como a impedância encontrada pela corrente em todo o circuito, incluindo o percurso da corrente através do corpo humano, o que varia de pessoa para pessoa, por exemplo com o nível de humidade da pele. O modo como é feito o contacto vai definir por onde a corrente fechará o circuito. O mais comum é entre as mãos e os pés. As consequências da passagem da corrente elétrica pelo corpo humano vão desde a contração muscular, paragem respiratória, fibrilação ventricular e queimaduras.

A Figura 2 exemplifica as consequências para o corpo Humano em função da passagem de uma corrente elétrica.



Figura 2 – Consequências da passagem de corrente no corpo humano [3]

Na eventualidade de uma passagem de corrente no corpo humano os riscos são tão mais elevados quanto maior for a duração do acidente e a intensidade de corrente.

A Figura 3 divide as consequências da passagem da corrente no corpo humano em função da intensidade de corrente e duração, quando esta passa da mão esquerda para o pé.

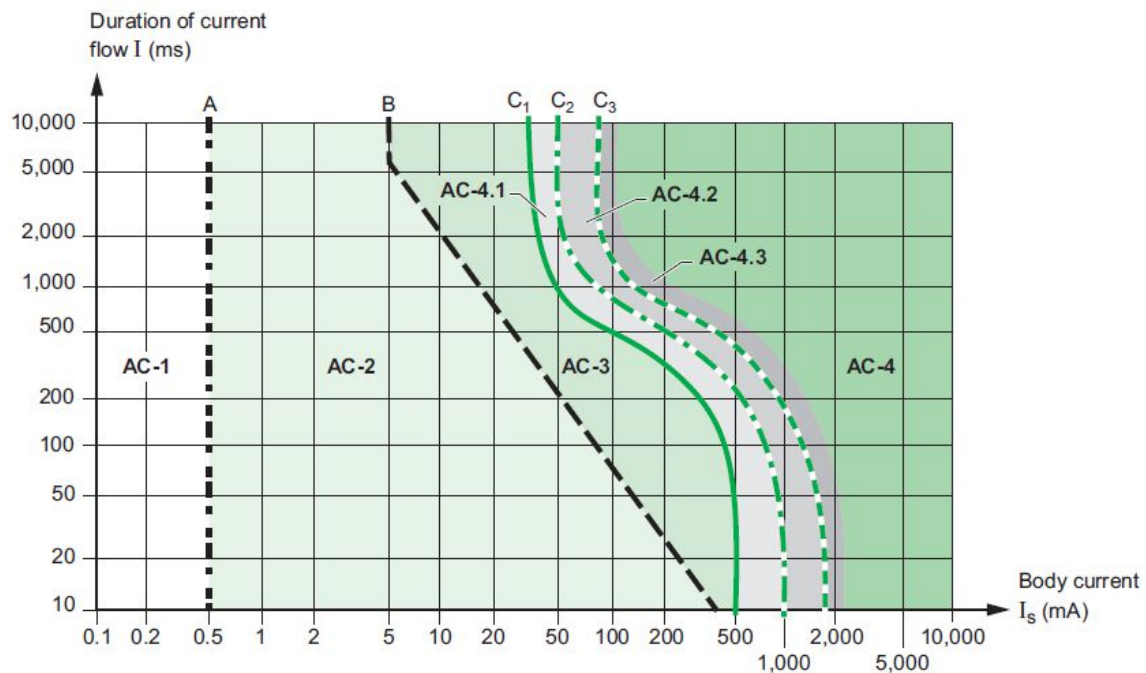


Figura 3 – Consequências da passagem da corrente no corpo humano [3]

As consequências para as pessoas verificadas nas diferentes zonas dos efeitos fisiopatológicos são:

- **Zona AC-1:** Imperceptível, sem reação;
- **Zona AC-2:** Perceptível, mas normalmente sem nenhum efeito fisiológico perigoso;
- **Curva B:** Começa a existência de reações musculares;
- **Zona AC-3:** Sem danos irreversíveis. Probabilidade de contração muscular e dificuldades respiratórias;
- **Curva C1:** Começa existência de risco de fibrilação ventricular;
- **Zona AC-4.1:** Probabilidade de fibrilação ventricular inferior a 5%;
- **Zona AC-4.2:** Probabilidade de fibrilação ventricular inferior a 50%;
- **Zona AC-4:** Possibilidade de danos irreversíveis. Para além dos indicados na zona AC-3 podem ocorrer queimaduras graves, paragem respiratória e cardíaca, risco de fibrilação ventricular superior a 50%.

A impedância do corpo humano varia de acordo com nível de humidade do ambiente em que se insere. A tensão de segurança que deve ser salvaguardada de modo geral é de 50V. Em locais especiais, com elevado nível de humidade ou presença de água, a tensão de segurança é de 25V, e em lugares molhados a tensão de segurança é de 12V. Na ocorrência de um contacto a pessoa não pode ficar sujeita a valores de tensão superiores aos indicados. A tensão a que uma pessoa fica sujeita na ocorrência de um defeito é denominada por tensão de contacto  $U$  [3].

Tensões limite de segurança:

- 50V para locais secos
- 25V para locais húmidos
- 12V para locais molhados

### **2.3.3 Contactos directos**

Contato direto ocorre quando há um contacto accidental entre a pessoa e uma parte ativa (condutor ou outro componente energizado) fechando um circuito à terra através do corpo da pessoa. Este tipo de contactos pode ocorrer devido a imprudência ou devido a acidente.

Existem três tipos de proteção geralmente usados para evitar os perigos de um contacto direto:

- A primeira categoria passa pelo uso de equipamentos que funcionem em Tensão Reduzida de Segurança que não represente perigo para as pessoas em caso de contacto direto. A tensão de segurança pode atingir no máximo 50V;
- A segunda categoria passa pela prevenção física, com uso de barreiras, isolamento, inacessibilidade das partes ativas;
- A terceira categoria passa pelo uso de equipamentos que resultam no corte de alimentação, através de diferenciais de alta sensibilidade e de curto tempo de atuação.

A Figura 4 exemplifica a ocorrência de um contacto direto, em que a pessoa fica em contacto com uma parte ativa sob tensão, tal como um cabo ou barramento sob tensão.

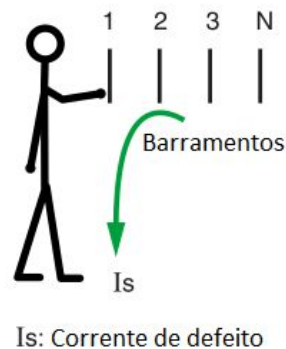


Figura 4 – Contacto direto [3]

#### 2.3.4 Contactos indiretos

Contacto indireto refere-se à situação de contacto entre uma pessoa e uma parte da instalação que se encontra sob tensão devido a um defeito de isolamento, ou seja, em condições normais de funcionamento não deveria de estar energizada.

A Figura 5 exemplifica a ocorrência de um contacto indireto, em que a pessoa fica sujeita a uma diferença de potencial quando em contacto com uma parte metálica do equipamento.

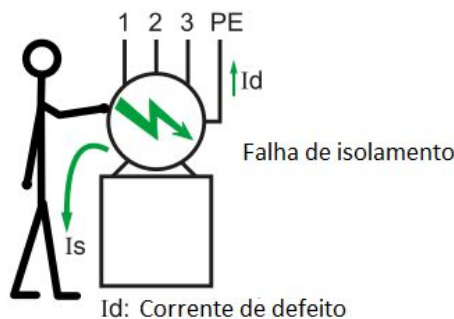


Figura 5 – Contacto indireto [3]

Como medidas passivas de proteção estão o uso de equipamentos de classe II de isolamento, uso de tensão reduzida de segurança, ligações equipotenciais. Como medida ativa temos a proteção por corte automático de alimentação.

A proteção contra contactos indiretos baseia-se na conexão de todas as massas da instalação e sua equipotencialização ao potencial da terra, assim, na ocorrência de um defeito de isolamento evita-se um contacto direto.

Existem dois níveis de proteção:

- Equipotencialização de todas as massas e coloca-las ao potencial da terra;
- Corte automático da alimentação da parte da instalação onde ocorreu o defeito, de tal forma que a tensão de contacto e o tempo de corte cumpra os requisitos para qualquer nível de tensão de contacto  $U_c$  a que o utilizador possa estar sujeito.

A Figura 6 exemplifica a tensão de contacto, que se refere à diferença de potencial a que uma pessoa ficará sujeita numa situação de contacto indirecto.

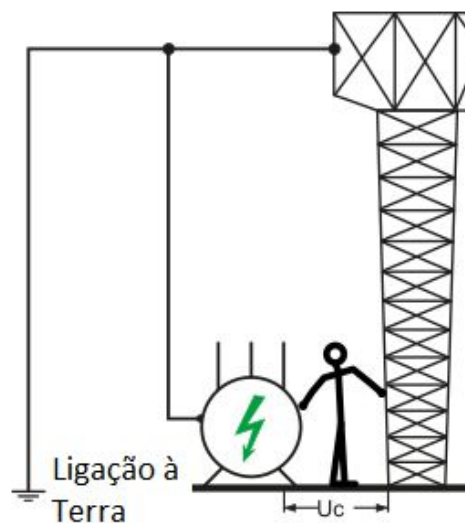


Figura 6 – Tensão de contacto [3]

Quanto maior for a tensão de contacto mais rápido terá de ocorrer o corte da alimentação da instalação de modo a garantir a proteção das pessoas. O maior valor de tensão de contacto que pode ser tolerado indefinidamente sem perigo para o corpo humano é de 50V AC.

### 2.3.5 Risco de incêndio

Uma grande parte dos incêndios que ocorrem em edifícios domésticos e industriais são devidos a defeitos elétricos. Cabos mal dimensionados submetidos a sobrecargas de corrente aceleram o processo que leva ao envelhecimento do isolamento dos condutores. A existência de pontos críticos, que devido a mau contacto levam ao sobreaquecimento é outro fator a ter em conta, sendo a termografia um excelente recurso para evitar este tipo de problemas.

Em locais de alto risco de incendio é recomendada a utilização de dispositivos diferenciais, independentemente do esquema de ligação à terra utilizado, contudo, como poderemos



verificar nos próximos capítulos, existem esquemas de ligação à terra mais adequados para locais deste tipo. Por exemplo não é recomendado o uso de TN-C visto que mesmo em condições normais de funcionamento, podem circular correntes no Neutro que por consequência circularão em todas as massas da instalação, podendo haver pequenas diferenças de potencial entre massas de equipamentos que podem gerar arcos elétricos que irão funcionar como fonte de ignição de incêndio.

## 2.4 Esquemas de Ligação à Terra

### 2.4.1 Aspetos gerais

Uma ligação à terra é geralmente dimensionada com vista a obter um caminho de baixa impedância capaz de escoar à terra correntes de defeito e correntes de fuga originadas por componentes eletrónicos. Os principais objetivos de uma correta ligação à terra são:

- **Segurança de pessoas**, na medida em que limita a tensão de contacto e cria um caminho de baixa impedância para fechar a malha de defeito;
- **Compatibilidade eletromagnética**, na medida em que limita as diferenças de potencial ao equipotencializar todas as massas da instalação ao potencial da terra.

Existem dois tipos de terras numa instalação elétrica:

- **Terra de Proteção:** Onde serão ligadas todas as partes metálicas da instalação que em funcionamento normal não devem estar sob tensão, ou sob tensão não perigosa, mas sujeitos à passagem de corrente em caso de defeito que provoquem diferenças de potencial perigosas e não previstas nesses elementos;
- **Terra de Serviço:** Ligação à terra do ponto comum da estrela do secundário do transformador de forma a referenciar o ponto neutro ao potencial da terra com o objetivo de influenciar as condições de exploração da instalação, limitar o potencial dos condutores ativos em relação à terra e por sua vez permitir o correto funcionamento dos dispositivos de proteção. [3.]

Elas podem ser:

- **Terras distintas:** Circuitos de terra suficientemente afastados para que o potencial de um deles não sofra uma variação superior a 5% da que experimenta o outro quando este ultimo é percorrido por uma corrente elétrica;

- **Terra única:** Interligação das funções de terra de proteção e terra de serviço numa única terra [3].

No sistema de distribuição de energia, não há neutro distribuído por motivos técnico-económicos. A distribuição é feita utilizando três fases simétricas sendo a tensão composta  $U_c$  verificada entre fases. Os transformadores de distribuição em Portugal são geralmente do tipo  $\Delta/Y$ , o que permitem obter uma tensão simples no ponto comum da estrela do secundário. O Neutro é, portanto, criado no secundário do transformador e referenciado à terra no caso do TT e TN, ou no caso do IT pode ser isolado ou impedante.

O esquema de ligação à terra define o método de como é feita a referenciação das tensões à terra a jusante do secundário de um transformador de distribuição assim como os métodos de equipotencialização das partes condutoras expostas numa instalação de baixa tensão. A terra em condições normais é equipotencial em toda a sua extensão, o que permite obter uma referencia comum em qualquer ponto de uma instalação elétrica, independentemente da distancia entre o Posto de Transformação e o utilizador final.

O esquema de ligação à terra é de extrema importância para a garantia de proteção das pessoas assim como para a segurança da instalação elétrica e disponibilidade de energia pelo que a sua escolha deve ser feita com especial cuidado tendo em conta os requisitos e utilização que a instalação irá ter, dependendo da importância ou não da continuidade de alimentação em caso de defeito, na existência de equipa de manutenção, dos riscos do local entre outras características.

A segurança das pessoas deve ser sempre a prioridade no dimensionamento de uma instalação elétrica industrial, devendo-se assegurar o cumprimento das normas aplicáveis ao projeto, execução e exploração da instalação. A energia elétrica apresenta riscos que se não forem corretamente avaliados podem colocar as pessoas em risco de choque elétrico assim como a ocorrência de danos materiais em equipamentos que por sua vez podem levar a incêndios ou explosões.

O esquema de ligação à terra é definido pelo modo como é feita a distribuição do Neutro e das massas da instalação. O esquema de ligação à terra é definido por uma sigla constituída por duas a três letras. A conjugação das letras define os três esquemas normalizados segundo a norma IEC 60364, o TT, TN e IT.

O esquema TN subdividiu-se em TN-C e TN-S podendo ainda haver uma combinação dos dois esquemas na mesma instalação denominando-se por TN-C-S.

A primeira letra representa o modo como é feita a ligação do neutro do transformador em relação à terra:

**T – Terra:** O ponto comum da estrela do transformador está ligado diretamente à terra;

**I – Isolado:** O ponto comum da estrela do transformador isolado da terra ou está ligado através de uma impedância de elevado valor.

A segunda letra indica o modo como é feita a ligação das massas dos equipamentos:

**T – Terra:** Ligação das massas da instalação ligados à terra de proteção da própria instalação;

**N – Neutro:** Ligação das massas da instalação através do condutor neutro.

A terceira letra aplica-se no caso do esquema de ligação à terra do tipo TN, que pode ser subdividido em dois esquemas:

**C – Combinado:** condutor Neutro e Proteção Elétrica combinados num só condutor PEN;

**S – Separado:** condutor Neutro e Proteção Elétrica em condutores distintos.

Normalmente uma instalação tem um esquema de ligação à terra para toda a instalação, mas numa mesma instalação podem coexistir vários esquemas de ligação à terra.

Os princípios básicos dos esquemas de ligação à terra para a proteção de pessoas contra o risco de contacto elétrico são:

- Ligação à terra das partes condutoras expostas de equipamentos e cargas elétricas;
- Equipotencialização de todas as partes metálicas expostas para eliminar a tensão de contacto;
- Corte automático da alimentação em caso de tensão ou corrente de defeito elevadas causadas por falhas de isolamento.

### 2.4.2 Esquema TT

O esquema TT por definição obriga à existência de duas terras distintas. A Terra de Serviço, (também denominada por Terra de Alimentação), onde será ligado o ponto comum da ligação estrela do secundário do transformador no posto de transformação, e a Terra de Proteção, onde serão ligadas todas as massas da instalação de utilização e que terá um elétrodo para ligação à terra na própria instalação.

Neste esquema, a corrente de defeito circula pelo enrolamento secundário do transformador, pelo condutor de fase, pela resistência do defeito em si, pelo condutor de proteção, e pelas resistências dos elétrodos de terra levando à ocorrência de correntes de defeito com valor muito baixo.

A Figura 7 mostra a malha de defeito no esquema de ligação à terra TT.

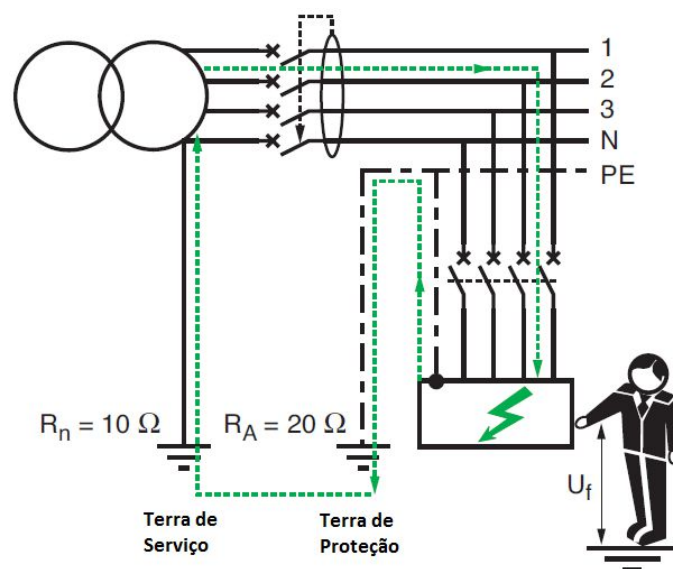


Figura 7 - Malha de defeito no esquema TT [3]

Num esquema TT para garantir uma correta proteção de pessoas contra contactos indirectos pelo corte automático de alimentação do circuito é necessário garantir uma tensão limite convencional de contacto. Segundo as RTIEBT, em condições normais, a tensão de contacto máxima é de 50V. A corrente de defeito será limitada pela impedância da malha de defeito devendo ser cumprida a seguinte condição:

$$R_A \cdot I \Delta n \leq 50 \text{ V} \quad \text{logo,} \quad R_A \leq \frac{50 \text{ V}}{I \Delta n}$$

Onde:

- $R_A$  é a resistência do eléctrodo das massas da instalação de utilização e do condutor de proteção ligado à massa do equipamento;
- $I\Delta n$  é a corrente diferencial de atuação do dispositivo diferencial.

De forma a evitar os efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no corpo humano devem ser cumpridos os tempos de atuação das proteções definidos nas normas em vigor.

A norma IEC 60364-4-41 especifica o tempo máximo de atuação dos dispositivos de proteção contra contactos indiretos no esquema TT.

Para circuitos finais cuja corrente nominal não excede 32A, o tempo de atuação será o especificado na Tabela 1 [3]:

Tensão Simples	$50 < U_0 \leq 120$	$120 < U_0 \leq 230$	$230 < U_0 \leq 400$	$U_0 > 400$
Tempo (s)	0.3	0.2	0.07	0.04

Tabela 1 – Tempos máximos de atuação das proteções para o esquema TT

Em todos os restantes circuitos, o tempo de atuação da proteção não deve exceder 1 segundo, devendo-se garantir a seletividade entre os dispositivos diferenciais do mesmo circuito de distribuição.

Uma instalação seguindo o esquema TT deve ser dotada de um dispositivo diferencial capaz de cortar a alimentação antes que a corrente de defeito atinja um valor que eleve a tensão de contacto acima do valor máximo permitido para o local em questão.

Para que um sistema de ligação à terra seja considerado como esquema TT, é necessário que os eléctrodos de terra sejam distintos. Hoje em dia, em zonas densamente urbanizadas é muito difícil garantir terras distintas uma vez que em regra os eléctrodos de terra são implementados nas fundações dos edifícios. O mesmo acontece em unidades fabris ou comerciais onde existam postos de transformação no seu interior. Neste tipo de instalações é praticamente impossível garantir a existência de terras distintas para Terra de Serviço e para Terra de Proteção.

Este facto leva a que a impedância da malha de defeito se aproxime do esquema TN, sendo de impedância muito reduzida e apenas limitada pelos condutores do circuito. Por

consequência as correntes de defeito serão bastante superiores às que ocorreriam num esquema TT puro com distinção de terras. Em termos de proteção de pessoas contra contactos indirectos não existem implicações uma vez que as proteções irão atuar dentro do tempo adequado à proteção das pessoas.

O problema surge na utilização de dispositivos diferenciais no esquema TT, que por norma não possuem grande poder de corte visto que na sua maioria estão integrados em interruptores. Visto que nesta configuração de esquema TT com terras confundidas as correntes de defeito tomam valores bastante elevados será necessário tomar especial atenção ao poder de corte que estes suportam, podendo ser necessário proceder à sua proteção através de disjuntores.

É uma situação a ter especial cuidado de modo a evitar que uma elevada corrente destrua o dispositivo diferencial, o que seria contraproducente ser o próprio dispositivo de proteção a eventualmente deflagrar um incêndio.

### **2.4.3 Esquema TN**

No esquema TN todas as massas da instalação estão ligadas diretamente ao ponto comum da estrela do transformador que está referenciado à terra. Na prática, um defeito Fase-Massa num esquema TN, vai se comportar como um curto-circuito franco entre Fase-Neutro. A corrente de defeito associada a este tipo de defeito é de elevado valor o que permite que a proteção contra este tipo de defeito seja garantida pela atuação dos dispositivos de proteção contra sobre intensidades situados a montante do defeito. No caso de os condutores de fase e condutores de proteção serem da mesma secção, a tensão de contacto pode atingir valores superiores a 50% da tensão simples no local do defeito durante o período de tempo que a proteção demora a atuar.

A Figura 8 ilustra o esquema TN nas vertentes TN-C com as funções de neutro e proteção elétrica confundidas no condutor PEN, e a vertente TN-S com condutores separados para as funções de neutro e proteção elétrica.

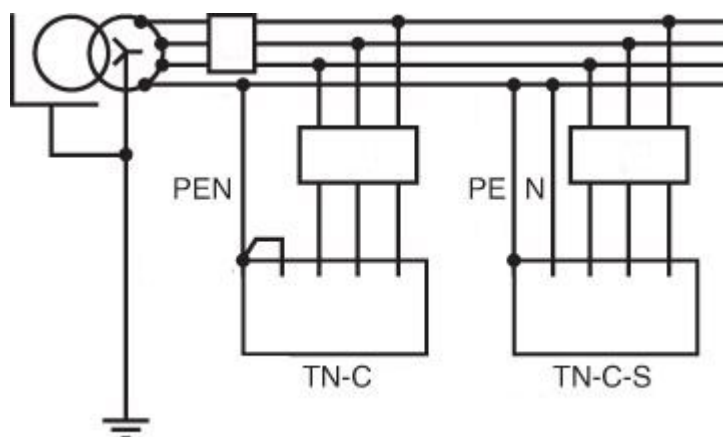


Figura 8 – Esquema TN nas vertentes TN-C e TN-S [3]

Uma vez que a corrente de defeito depende da impedância dos condutores que formam a malha de defeito, é necessário comprovar que esta corrente será suficientemente alta para atuar a parte de atuação magnética dos dispositivos de proteção contra sobre intensidades. Contudo, se a impedância for demasiado alta, de tal modo que a corrente de defeito não seja suficiente para atuar as proteções na sua zona de atuação magnética, então uma solução para este problema será a utilização de diferenciais de baixa sensibilidade. ( $I\Delta_N > 1A$ ).

Neste esquema, todos os defeitos de isolamento irão gerar correntes de elevada grandeza, que poderão causar fortes danos na instalação, como por exemplo o sobreaquecimento de condutores levando ao derretimento de isolamento e gerar incêndios, ou a possibilidade de saltar um arco elétrico entre o condutor ativo e a massa onde ocorreu o defeito colocando em risco pessoas que possam estar nas proximidades.

Estes danos podem ser consideravelmente limitados com a utilização de diferenciais instantâneos de baixa sensibilidade, que são capazes de atuar antes da corrente atingir um valor elevado. Este tipo de proteção será tanto mais importante quanto maior a corrente de serviço uma vez que a energia dissipada no ponto de defeito será proporcional ao quadrado da corrente.

No Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), em qualquer variação do esquema TN, a ligação das terras do Posto de Transformação será idêntica, ou seja, o condutor de neutro, que ligará ao ponto comum da estrela do secundário do transformador, assim como o condutor de proteção, irão ligar ao mesmo eletrodo de terra. O que irá definir o tipo de esquema será o

modo como é feita a distribuição entre os quadros parciais a jusante, se com neutro distribuído ou apenas condutor PEN.

A implementação prática do esquema TN deve ter em conta um certo número de regras de devem ser cumpridas com rigor [3]:

1. O condutor PE não deve estar instalado de modo a que atravesse condutas metálicas ferromagnéticas uma vez que o efeito indutivo e efeito de proximidade podem aumentar a impedância efetiva do condutor;
2. O condutor PE deve estar referenciado à terra o maior numero de vezes possível;
3. Quando é utilizado o condutor PEN este deve estar ligado diretamente ao eletrodo de terra da instalação antes de ser ligado ao barramento de neutro dessa mesma instalação;
4. Quando for utilizado um cabo de secção inferior a  $6\text{mm}^2$  ou  $10\text{mm}^2$ , para alma condutora de cobre e alumínio respetivamente, o condutor de Proteção e o condutor de neutro devem estar separados, adotando a variante TN-S;
5. As correntes de defeito podem ser eliminadas com recurso a dispositivos contra sobre intensidades, como fusíveis e disjuntores.

De forma a garantir o correto funcionamento dos dispositivos de proteção, deverá sempre ser efetuada uma análise às correntes mínimas de curto circuito em toda a extensão da instalação, por esse motivo, este esquema só deve ser aplicado se existir um profundo conhecimento da instalação elétrica em causa. Aplicando a lei de Ohm, devem ser somadas as impedâncias de toda a malha de defeito desde a origem da instalação até ao ponto mais distante do circuito.

Em Baixa Tensão, para secções até  $120\text{mm}^2$ , quando o condutor de proteção circula junto dos condutores de fase correspondentes, é possível desprezar as reactâncias dos condutores uma vez que esta é tão pequena quando comparada com a resistência do cabo.

Para secções superiores a  $120\text{mm}^2$ , podemos aproximar este valor aplicando os fatores de correção indicados na Tabela 2.



Secção do cabo	Valor de Resistência
$S = 150\text{mm}^2$	$R + 15\%$
$S = 185\text{mm}^2$	$R + 20\%$
$S = 240\text{mm}^2$	$R + 25\%$

Tabela 2 – Compensação da resistência para o aumento da reactância [3]

#### 2.4.3.1 Esquema TN-C

O esquema TN-C funciona com um único condutor para as funções de Neutro e Proteção, denominado por condutor PEN. Uma vez que este condutor também tem a função de condutor de proteção, não é possível efetuar o seu seccionamento.

A Figura 9 demonstra a malha de defeito no esquema TN-C.

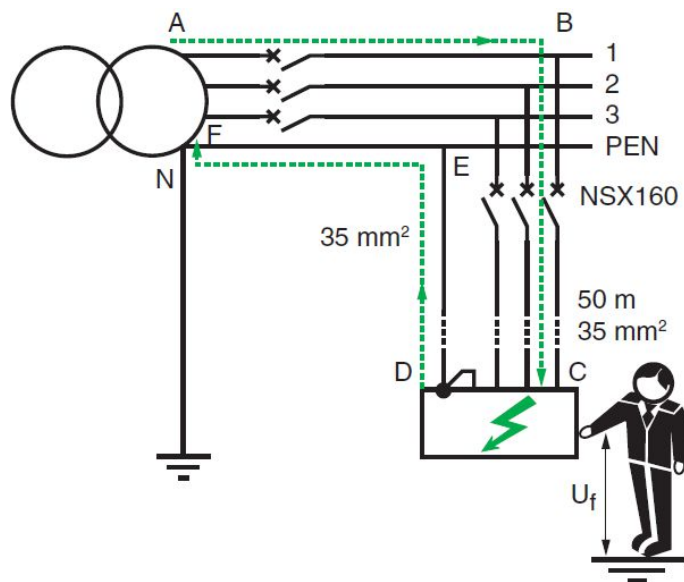


Figura 9 – Malha de defeito no esquema TN-C [3]

A corrente de defeito depende da tensão simples e da impedância da malha de defeito:

$$Id = k \frac{U_0}{Z_s}$$

- $U_0$  = tensão nominal entre fase e neutro;
- $Id$  = Corrente de defeito;
- $Z_s$  = Impedância da malha de defeito, igual ao somatório das impedâncias da fonte, do condutor de fase até ao ponto do defeito e do condutor de proteção de volta até a fonte.

A corrente de defeito terá que ser superior à corrente de atuação magnética do disjuntor que protege o circuito de modo a garantir que o corte se dá no menor tempo possível.

A norma IEC 60364-4-41 especifica o tempo máximo de atuação do dispositivo de proteção usado em TN para a proteção contra contatos indiretos para circuitos em que a corrente nominal não exceda os 32A, tal como indicado na Tabela 3.

<b>Tensão Simples</b>	<b><math>50 &lt; U_0 \leq 120</math></b>	<b><math>120 &lt; U_0 \leq 230</math></b>	<b><math>230 &lt; U_0 \leq 400</math></b>	<b><math>U_0 &gt; 400</math></b>
<b>Tempo (s)</b>	0.8	0.4	0.2	0.1

Tabela 3 – Tempos máximos de atuação das proteções para o esquema TN

Para os restantes circuitos o tempo máximo de atuação está fixado nos 5 segundos. Isto permite jogar com a seletividade dos dispositivos de proteção instalados. A razão por detrás desta recomendação baseia-se no facto de que, a corrente que tem que circular de modo a elevar o potencial de uma parte exposta até 50V ou mais, é tão alta que uma de duas possibilidades irá ocorrer:

1. A malha de defeito vai-se abrir sozinha de forma praticamente instantânea;
2. O condutor vai derreter e soldar-se a uma parte metálica formando um curto circuito franco que irá fazer atuar as proteções.

A atuação instantânea corresponde à parte magnética do disjuntor, e esta atuará garantidamente num tempo inferior a 0.1 segundos. Deste modo, se garantirmos que a corrente de defeito é superior à corrente de atuação magnética do disjuntor, estamos a garantir que o circuito será sempre aberto dentro dos tempos permissíveis.

O condutor PEN traduz-se numa grande vantagem económica uma vez que se reduz o custo da instalação elétrica, juntando a função de dois cabos num só. Contudo, em condições normais de funcionamento o PEN será percorrido por corrente, principalmente no caso de existirem harmónicos de 3ª ordem na instalação. Isto aliado ao facto de haver uma queda de tensão ao longo do cabo e este estar em contacto com todas as massas da instalação, significa que estaremos a colocar as massas da instalação com uma diferença de potencial. Esta diferença de potencial não alcançará valores que causem algum perigo para os utilizadores, mas poderá originar pequenos arcos elétricos que levam ao desaconselhamento deste tipo de esquema de ligação à terra em locais com risco de incêndio ou explosão. Estas pequenas

diferenças de potencial ao longo das massas da instalação, também poderão causar problemas de perturbação eletromagnética em sistemas eletrónicos mais sensíveis.

#### **2.4.3.2 Esquema TN-S**

No esquema TN-S o condutor de neutro e o condutor de proteção elétrica são separados, o que o aproxima do modo de funcionamento do esquema TT. Contudo as correntes de defeito continuam a ter os mesmos valores elevados tal como no esquema TN-C, uma vez que as massas da instalação, tal como no TN-C, estão ligadas diretamente ao ponto comum da estrela, que está referenciado à terra. Ou seja, no posto de transformação não há diferenças entre o esquema TN-C e TN-S, visto que, haja neutro distribuído ou não, este estará ligado ao mesmo ponto que o condutor de proteção, formando um esquema TN-C. Será a forma como é feita a distribuição do QGBT em diante que define o esquema de ligação à terra.

Para secções de fase menores que  $10\text{mm}^2$  no caso do cobre e  $16\text{mm}^2$  no caso do alumínio, ou em circuitos finais onde não se consegue saber o comprimento dos cabos, o Neutro e o condutor de Proteção Elétrica devem ser separados, formando-se um sistema TN-S.

Este esquema tem a grande desvantagem económica em relação ao TN-C de obrigar à instalação de dois condutores distintos para o Neutro e Proteção Elétrica, contudo evita todas as desvantagens referidas sobre o TN-C, ou seja, queda de tensão e circulação de correntes no condutor de proteção e massas da instalação, mesmo em condições normais de funcionamento, problemas de compatibilidade eletromagnética, risco de incendio etc.

Na eventualidade de uma falha de isolamento e consequente surgimento de uma corrente de defeito no condutor de proteção, os problemas transitórios referidos no TN-C também se aplicam neste esquema. A proteção também pode ser efetuada por dispositivos de proteção contra sobreintensidades, onde se aplicam as mesmas regras do TN-C.

#### **2.4.3.3 Variante TN-C-S**

Um esquema TN-C poderá ser seguido de um esquema TN-S, ou seja, em qualquer ponto da instalação é possível separar o condutor PEN em dois condutores separados, resultando um esquema TN-C-S, tal como representado na Figura 10.

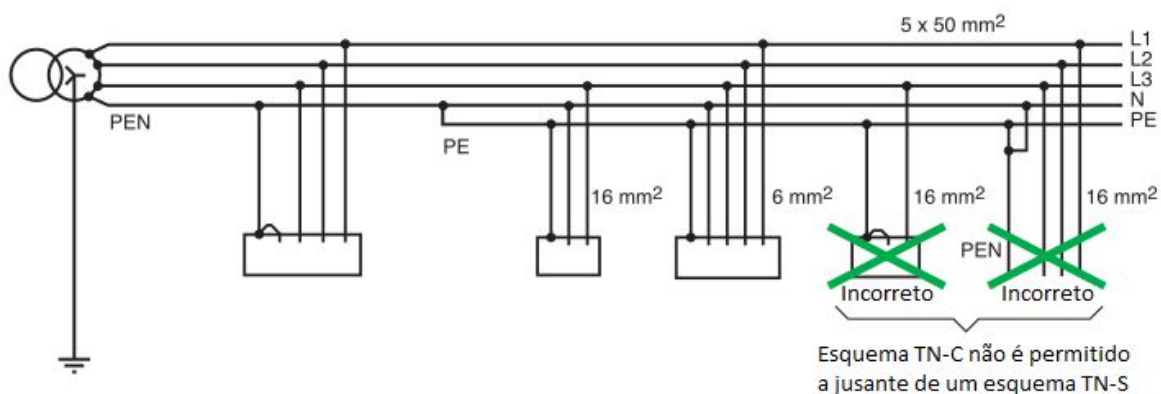


Figura 10 – Esquema TN-C-S [3]

A partir do momento em que temos dois condutores separados para a função de PE e Neutro, já não é permitido voltar a juntar os condutores num condutor comum em mais nenhum ponto a montante desse circuito, ou seja, a seguir a um esquema TN-S nunca podemos ter um esquema TN-C.

Na prática, ao efetuar um esquema TN-S-C o que aconteceria é que estaríamos a tornar toda a instalação num esquema TN-C. Isto é, apesar de estarmos na presença de condutores separados para o N e PE numa determinada extensão do circuito, a partir do momento em que os voltamos a juntar num determinado ponto a jusante, estes dois condutores ficarão ligados em paralelo, ou seja, em termos práticos estaremos a tornar toda a extensão da instalação em TN-C. Isto significa que em condições normais de funcionamento uma parte da corrente do neutro circulará permanentemente pelo condutor de PE e por consequência por todas as massas da instalação.

Por definição, o condutor PE não é um condutor ativo, e por este motivo não deverá ser percorrido por corrente elétrica durante o normal funcionamento da instalação, tornando este tipo de ligação inadmissível por definição.

É importante distinguir o caso de, na eventualidade de uma máquina trifásica que não necessita de neutro, ou seja, é alimentada com 3 fases mais o condutor de proteção elétrica, não significa que se trate de um esquema TN-C, uma vez que o condutor de proteção apenas serve o efeito de proteção elétrica não havendo a combinação das funções de neutro e proteção num só condutor.

#### 2.4.4 Esquema IT

O esquema IT não tem partes ativas diretamente ligadas à terra, podendo o Neutro estar isolado da Terra de Serviço, ou estar ligado através de uma impedância de elevado valor. A impedância tem como função a limitação das variações de potencial entre a rede e a terra que possam ter origem em perturbações provenientes da rede de Média Tensão a montante e da variação de potencial da terra local.

As massas da instalação serão ligadas a um elétrodo de terra separado. Este esquema obriga à instalação de um limitador de sobretensões entre o ponto neutro do transformador e a terra ou entre uma fase e a terra se o ponto neutro não for acessível. Este garante o escoamento de sobretensões de origem externa para a terra protegendo a rede de baixa tensão.

No caso de contato direto de uma pessoa com um condutor ativo sob tensão, a corrente que é suscetível de atravessar o corpo humano fecha-se pelas resistências de isolamento e pelas capacidades entre os condutores e a terra das outras fases. É a resistência de isolamento e capacidade entre as outras duas fases e a terra que limitará a corrente a que a pessoa estará sujeita em caso de contato direto, tal como representado na Figura 11.

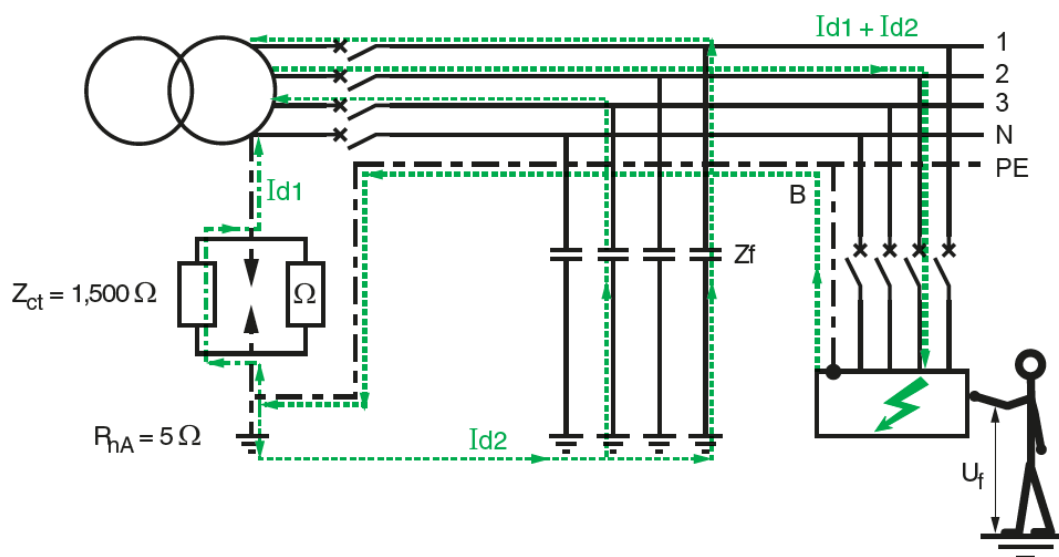


Figura 11 – Corrente de defeito no esquema IT [3]

Como representado na figura a corrente de defeito num sistema IT circula pelo condutor de fase retornando à fonte pelas capacidades da linha. Por este motivo, a corrente de defeito deve ser caracterizada por um valor de corrente muito baixo de modo a não atuar as proteções e cortar a alimentação ao circuito sendo que a tensão de contacto será muito baixa.

Segundo a norma IEC 60364-4 o corte de alimentação ao primeiro defeito não é necessário a partir do momento em que as seguintes condições são cumpridas:

$$50 \text{ V} \leq R_{PE} \cdot I_d$$

Onde:

- $R_{PE}$  resistência do eléctrodo de terra e do condutor de proteção do equipamento;
- $I_d$  é a corrente de defeito, em ampere, do primeiro defeito entre um condutor de fase e uma massa da instalação.

Se esta condição for cumprida, após o defeito, a tensão de contacto será inferior a 50 V, o que é tolerável pelo corpo humano por tempo indeterminado. Num sistema IT a instalação deve ser dotada de um sistema de deteção de falha de isolamento de forma a rapidamente se detetar e resolver o primeiro defeito, antes que um segundo defeito aconteça, evitando assim o corte de alimentação. Após a ocorrência do primeiro defeito e enquanto este estiver ativo, um segundo defeito passará a comportar-se como um sistema TN caso as massas da instalação estejam ligadas ao mesmo eléctrodo de terra.

A Figura 12 demonstra a malha de defeito com dois defeitos a ocorrer em simultâneo com todas as massas da instalação ligadas ao mesmo eléctrodo de terra.

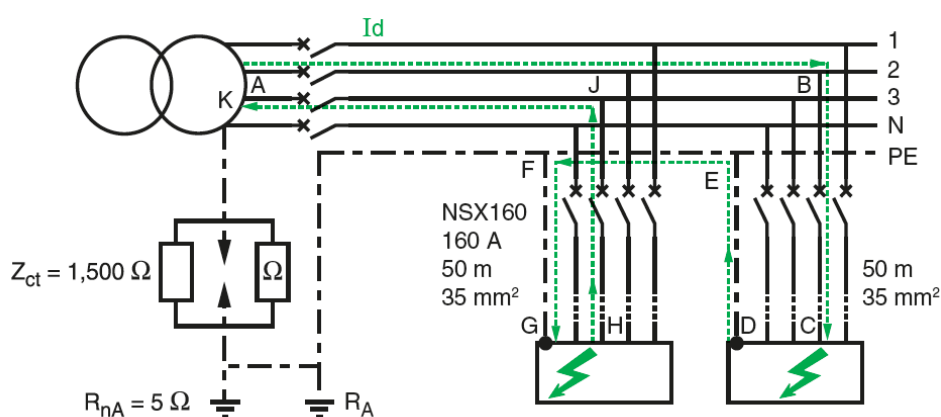


Figura 12 – Malha de defeito com dois defeitos a ocorrer em simultâneo com todas as massas da instalação ligadas ao mesmo eléctrodo de terra [3]

Se existir condutor de neutro distribuído, as correntes de curto circuito mínimas irão ocorrer caso a situação de defeito seja entre o Neutro e a terra. Nesta situação deverá ser utilizada a

tensão simples para o cálculo das correntes de curto circuito. Por outro lado, se não existir condutor de neutro distribuído, a corrente de curto circuito terá sempre por base uma tensão composta.

Nestas condições de funcionamento a garantia de proteção deve seguir as regras aplicáveis ao esquema de ligação à terra TN, o que implica o corte de alimentação assim que um segundo defeito ocorra.

Caso as massas da instalação estejam ligadas à terra de forma independente, cada com o seu eletrodo de terra, ou em grupos, um eletrodo de terra para um certo grupo, passará a ser equivalente a um esquema TT. Neste caso deve-se utilizar dispositivos diferenciais para proteger cada grupo de equipamentos que estejam agrupados num eletrodo e terra.

Isto coloca-se uma vez que apesar de as massas estarem agrupadas em diferentes eletrodos de terra, estes não deixam de estar ligados e equipotencializados à terra, ou seja, as correntes de defeito serão limitadas ao fecharem-se pela terra impossibilitando o uso de dispositivos de proteção contra sobreintensidades.

É necessário o uso de dispositivos diferenciais bastante sensíveis à corrente residual, contudo, é importante garantir que a sua corrente de operação seja superior à corrente gerada num primeiro defeito para evitar disparos intempestivos que contrariam a finalidade do esquema IT.

### 2.4.5 Comparação dos esquemas de ligação à terra

Cada esquema de ligação à terra terá vantagens e desvantagens devendo ser escolhido o tipo de esquema que se aplique melhor à situação pretendida.

A proteção de pessoas não é um critério de seleção do esquema de ligação à terra uma vez que, se todas as regras inerentes a cada um dos esquemas for cumprida, todos eles são equivalentes em termos de segurança para as pessoas. A escolha do esquema de ligação à terra depende nos requisitos regulamentares, na importância da continuidade de serviço, condições de operação e nos tipos de instalações e cargas a alimentar.

Na Tabela 4 – Comparação dos Esquemas de Ligação à Terra, é feita uma análise comparativa em relação aos esquemas de ligação à terra no que diz respeito à segurança de pessoas, segurança da instalação, continuidade de serviço e compatibilidade eletromagnética (EMC).

	<b>TT</b>	<b>TN-S</b>	<b>TN-C</b>	<b>IT</b>
<b>Segurança de pessoas</b>	- Boa - Uso de dispositivos diferenciais obrigatório	- Boa - A continuidade do condutor PE tem que estar garantida por toda a instalação.		
<b>Segurança da instalação</b>	- Boa	- Fraca	- Fraca	- Boa
<b>Corrente de defeito</b>	- Correntes de defeito médias (<10 A)	- Elevada corrente de defeito (> 1kA)	- Elevada corrente de defeito (> 1kA)	- Corrente de defeito baixa (~10mA) para o primeiro defeito, e elevada para o segundo defeito
<b>Continuidade de serviço</b>	- Boa	- Boa	- Boa	- Excelente
<b>Compatibilidade eletromagnética</b>	- Boa - Risco de sobretensões - Problemas equipotenciais - Necessidade de gerir equipamentos com elevadas correntes de fuga	- Excelente - Boa ligação equipotencial - Elevadas correntes	- Fraca, não recomendado	- Fraca (evitar)

Tabela 4 – Comparação dos Esquemas de Ligação à Terra [3]



Se a disponibilidade de energia for um fator crítico para uma instalação, o esquema de ligação à terra a escolher deverá ser o IT uma vez que não há corte ao primeiro defeito. Contudo a escolha deste esquema implica a necessidade de uma equipa de manutenção de forma a responder com brevidade ao primeiro defeito de modo a evitar a ocorrência de um segundo defeito e com isto levar ao corte de alimentação. Uma vez que o primeiro defeito não gera correntes elevadas a deteção do defeito também se torna mais difícil aumentando o tempo de deteção. Ao segundo defeito, torna-se equivalente aos restantes esquemas.

O esquema de ligação à terra do tipo TN gera elevadas correntes de defeito que podem causar problemas de compatibilidade eletromagnética devendo sempre ser utilizada a vertente TN-S.

O esquema TT gera baixas correntes de defeito o que obriga a utilização de dispositivos diferenciais levando ao encarecimento desta solução quando comparada com o esquema TN. Em instalações elétricas com elevada distorção harmónica e perturbações na tensão podem surgir problemas equipotenciais que levam a disparos intempestivos dos dispositivos diferenciais o que leva ao não aconselhamento deste esquema de ligação à terra em instalações industriais com grande número de cargas não lineares.

#### **2.4.6 Ligações Equipotenciais**

O correto funcionamento dos dispositivos de proteção está dependente da qualidade das ligações equipotenciais. Sem uma correta e fiável ligação à terra de todas as partes metálicas da instalação e dos equipamentos, não existe garantia de segurança pelo que tudo o que foi falado acerca das condições de segurança e correto dimensionamento de instalações elétricas de nada serve sem que haja garantia de eficazes ligações equipotenciais.

Numa instalação elétrica industrial não é aconselhado o uso de diferentes redes de terras para diferentes fins, por exemplo, uma rede de terras para a rede de proteção elétrica, outra para condutores de descargas atmosféricas ou redes de telecomunicações. Quando um campo magnético afeta uma instalação, por exemplo o campo magnético criado por uma descarga atmosférica, uma corrente de defeito ou perturbações em Alta Frequência de uma rede de comunicações, são criadas diferenças de potencial que geram correntes nos condutores de terra que circularão pelas massas da instalação.

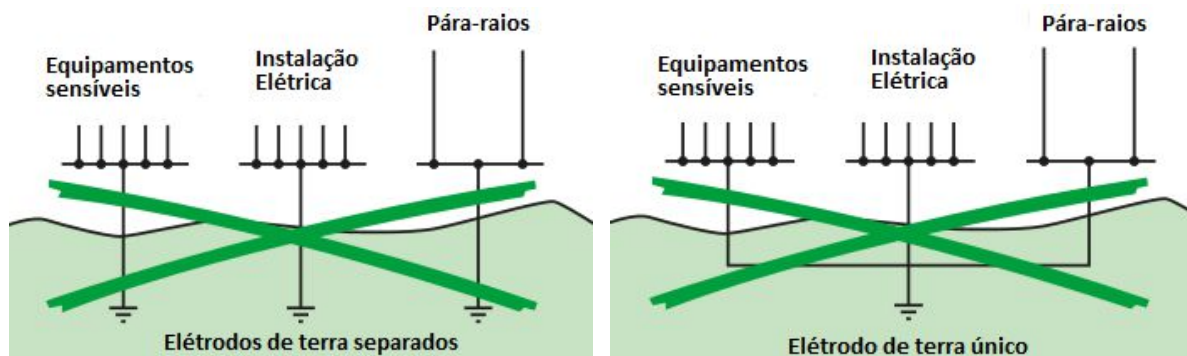


Figura 13 – Soluções não aceitáveis em termos de EMC e segurança [3]

As correntes de fuga são inevitáveis numa instalação elétrica, é impossível eliminar todas as fontes geradoras de correntes de fuga numa instalação. Desde que as correntes circulem apenas nos condutores de terra e não nos circuitos eletrónicos não há qualquer tipo de perigo para os equipamentos, contudo, quando uma rede de terras não está equipotencializada, as correntes de fuga irão fluir por onde puderem, incluindo cablagens de controlo e comando ao invés de escoarem diretamente para a terra. Nesta situação podem ocorrer perturbações no correto funcionamento dos aparelhos, danificar os mesmos ou até destruí-los por completo. A única maneira de resolver este problema de forma economicamente viável é a interligação dos eléctrodos de terra criando uma terra única na instalação totalmente equipotencializada. Todo o tipo de eléctrodos de terra tais como condutores de descarga atmosféricas, condutores de proteção e devem estar conectados e ligados à mesma rede de terras, tal como representado na Figura 14.

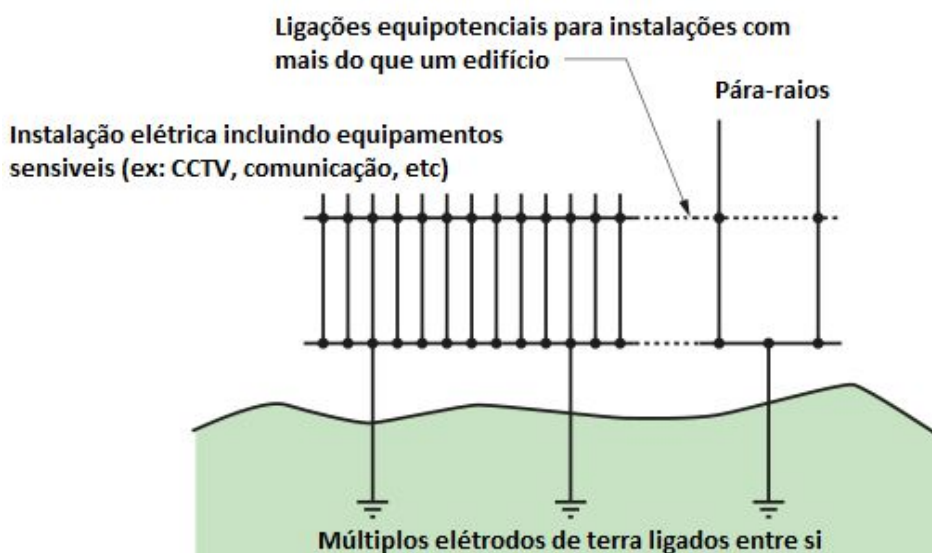


Figura 14 – Instalação com múltiplos eléctrodos de terra ligados entre si [3]

A principal diferença entre os condutores de proteção e condutores de descarga atmosférica, é que os primeiros têm como objetivo conduzir a corrente fornecida de volta ao ponto comum do transformador MT/BT enquanto que os segundos têm como objetivo levar correntes externas à instalação ao eletrodo de terra. O problema da compatibilidade eletromagnética leva ao desaconselhamento do uso do esquema de ligação à terra TT em instalações industriais, sendo sempre preferível adotar o esquema TN-S. Por motivos económicos pode-se optar pela adoção da vertente TN-C-S, usando a vertente TN-C para os circuitos de distribuição entre o QGBT e os principais quadros de potência, devendo-se a partir desse ponto derivar para o esquema TN-C-S.

## **2.5 Proteção Diferencial**

Hoje em dia os dispositivos sensíveis à corrente diferencial residual são reconhecidos por todo o mundo como um meio eficaz de assegurar a proteção das pessoas em instalações elétricas de baixa tensão. [4]

Utilizando dispositivos diferenciais de alta sensibilidade, com correntes diferenciais até 30mA, não só protegem contra contatos indiretos como garantem a proteção das pessoas contra contatos diretos. A proteção contra incêndios também sai bastante beneficiada uma vez que permite cortar a alimentação muito rapidamente em caso de defeito, não permitindo a corrente de defeito atingir valores perigosos. Quando o objetivo é apenas a proteção dos bens materiais, podem ser utilizados diferenciais de baixa sensibilidade até 30A.[4]

O requisito básico para a utilização de um dispositivo diferencial, é a existência de um condutor PE devidamente conectado entre as massas dos equipamentos e a terra de proteção.

Um dispositivo diferencial é constituído por uma bobine toroidal que engloba todos os condutores portadores de corrente de um circuito elétrico, e o fluxo magnético gerado no núcleo da bobine depende a cada instante da soma aritmética das correntes, sendo que as correntes que passam num sentido são consideradas como positivas (I1) enquanto que as que passam no sentido oposto serão negativas (I2), como demonstrado na Figura 15.

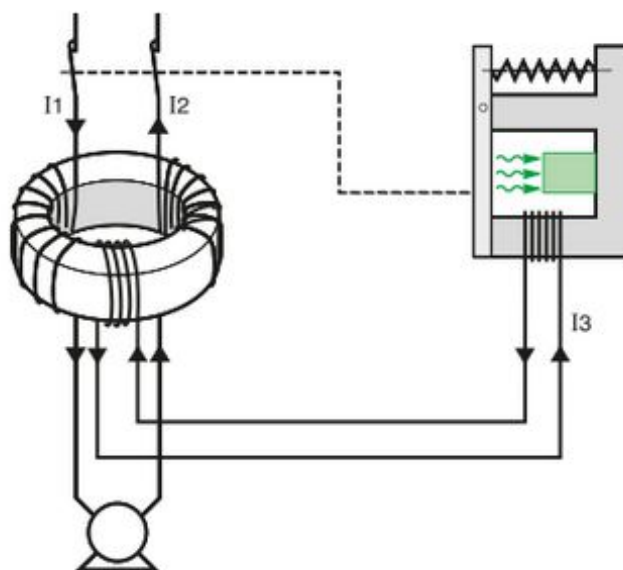


Figura 15 – Princípio de funcionamento de um dispositivo diferencial [3]

Num circuito em funcionamento normal, a corrente que “entra” será igual à corrente que “sai”, mas com sentidos opostos, logo  $I_1 + I_2 = 0$ , o que significa que não haverá fluxo magnético no núcleo.

Na eventualidade da ocorrência de um defeito, a corrente  $I_d$  irá passar pelo diferencial, mas irá retornar para a origem através da terra, ou através dos condutores de proteção no caso do TN. Isto significa que o equilíbrio entre as correntes na bobine toroidal deixará de existir, sendo que essa diferença, denominada por corrente residual, irá criar um fluxo magnético no núcleo do diferencial.

O fluxo magnético vai induzir uma corrente nos seus enrolamentos, de modo a que  $I_3$  irá percorrer o relé de atuação do dispositivo. Se a corrente residual  $I_3$  for superior ao valor requerido para atuar o dispositivo, então este irá atuar interrompendo o circuito.

A Figura 16 mostra o diagrama vetorial trifásico numa situação normal onde se verifica que a soma vetorial de todos os vetores é nula, e em caso de defeito a soma vetorial deixa de ser nula existindo uma corrente de defeito  $I_f$ .

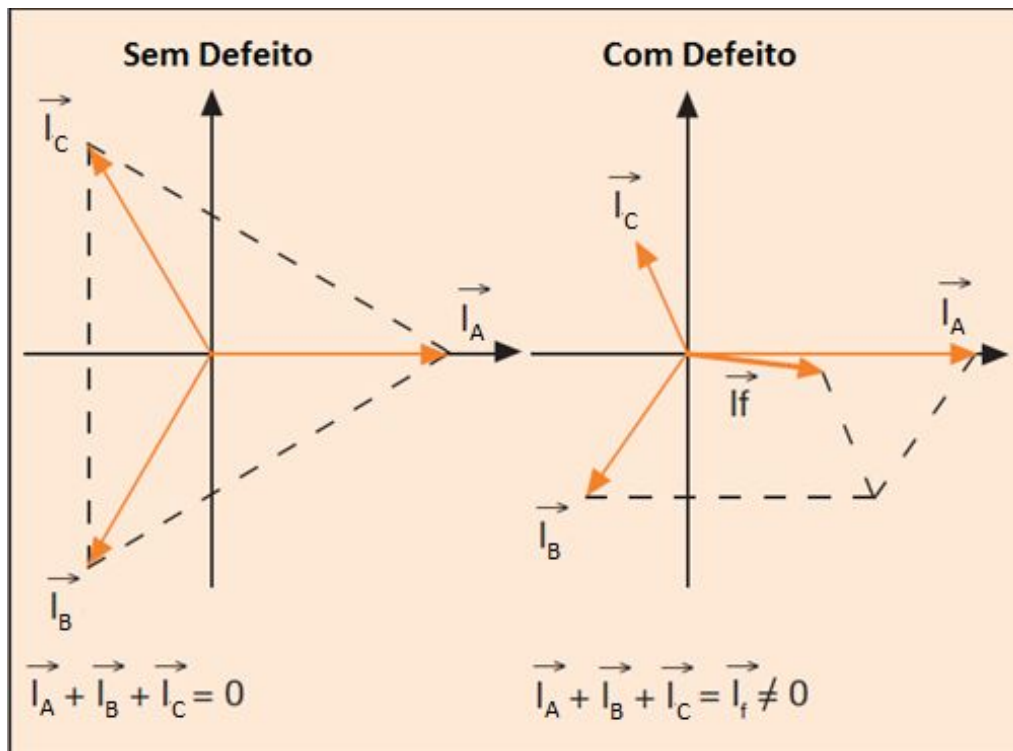


Figura 16 – Diagrama vetorial trifásico [4]

### 2.5.1 Seletividade entre diferenciais

Quando uma instalação tiver dispositivos diferenciais colocados em série, pode ser necessário, por motivos de exploração e de segurança, garantir seletividade entre esses dois dispositivos, por forma a manter a alimentação às partes da instalação não afetadas pelo eventual defeito [1].

De modo a garantir a seletividade total entre dispositivos diferenciais em série é necessário cumprir duas condições:

- Sensibilidade  $I\Delta n$  do dispositivo a montante não deve ser inferior a três vezes a do dispositivo colocado a jusante;
- O tempo de disparo do dispositivo a montante deve ser maior ou igual a 1,2 vezes o tempo de abertura dos circuitos a jusante.

A Figura 17 representa as curvas de vários dispositivos diferenciais. A seletividade está garantida se em nenhum ponto as curvas se cruzarem pelo que é necessário ter atenção tanto à sensibilidade dos mesmos como ao tempo de disparo do dispositivo diferencial.

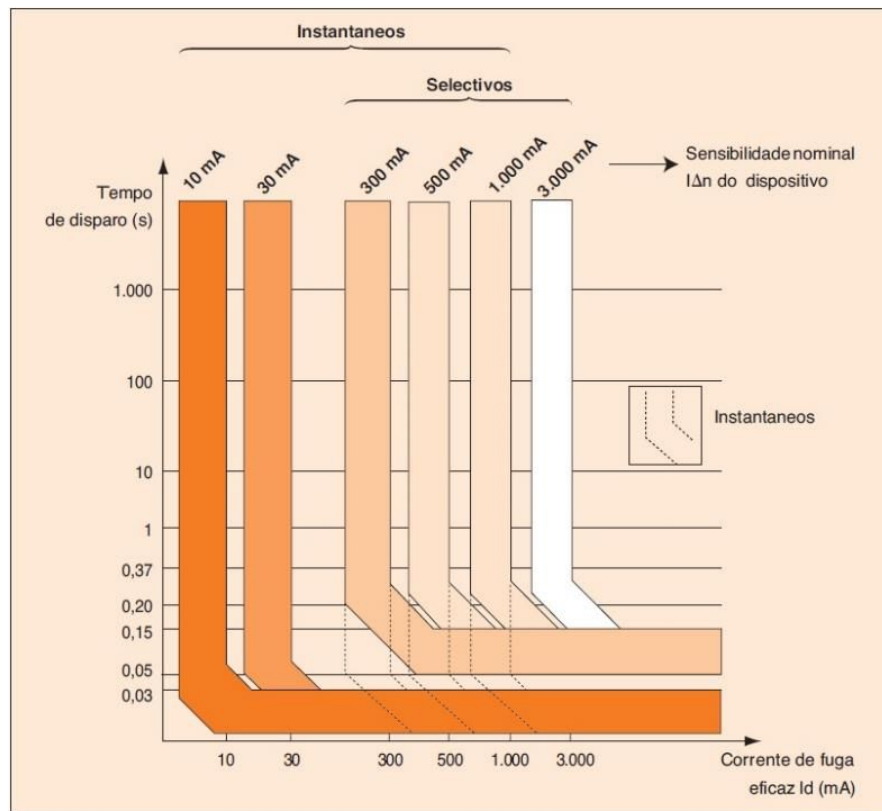


Figura 17 – Curvas de disparo de vários dispositivos diferenciais [4]

Quando um dispositivo diferencial está incorporado num dispositivo de proteção contra sobreintensidades, as características do conjunto devem ser capazes de suportar as correntes a que possam estar sujeitos, seja em condições normais de funcionamento, seja em condição de defeito.

Se o dispositivo diferencial for “*stand alone*” a proteção contra sobreintensidades deve ser garantida por dispositivos adequados e o diferencial deve suportar, sem danos, as solicitações térmicas e mecânicas suscetíveis de ocorrerem em caso de curto circuito a jusante do local em que estiver instalado. [RTIEBT 539.2.2]

Quando numa instalação existem vários dispositivos diferenciais colocados em série, pode ser necessário por motivos de exploração e segurança, garantir a seletividade entre esses dispositivos. O objetivo da seletividade entre diferenciais é coordenar a atuação das proteções de tal maneira que em caso de defeito, apenas dispare o dispositivo mais próximo

do mesmo, cortando a alimentação apenas ao circuito afetado, não havendo mais nenhum dispositivo a atuar. De forma a obter seletividade, os dispositivos diferenciais colocados a montante devem possuir uma curva de atuação que não intercete a curva de atuação do dispositivo colocado a jusante.

Segundo as RTIEBT a corrente diferencial de atuação do dispositivo colocado a montante não deve ser inferior a três vezes a do dispositivo colocado a jusante de forma a garantir a seletividade total entre eles.

### **2.5.2 Disparos intempestivos de dispositivos diferenciais**

Denomina-se por disparo intempestivo quando o dispositivo de proteção atua em situações onde não existe corrente de defeito, não havendo risco para as pessoas, mas coloca em causa a continuidade de serviço que em alguns casos pode ter grandes consequências, como por exemplo a paragem de um processo de produção.

Um dos motivos mais comuns para a atuação intempestiva de diferenciais é a falta de seletividade horizontal. Estes disparos consistem na abertura simultânea de um ou vários dispositivos diferenciais que protegem saídas em paralelo da mesma instalação. Este fenómeno deve-se principalmente às correntes de fuga que circulam através das capacidades da instalação. Estas capacidades podem ter origem em:

- Nas capacidades de isolamento dos condutores elétricos;
- Nos filtros capacitivos ligados à massa existentes em vários equipamentos eletrónicos.

Quando numa instalação se geram correntes de fuga de alta frequência ou transitórios de curta duração, a resistência ao fluxo através das capacidades referidas é muito baixa. Os cabos elétricos são compostos por uma parte ativa, o condutor, e uma parte não ativa, o isolamento. Se este cabo está ao lado de um condutor de proteção ligado à terra, as únicas impedâncias que existem entre a parte ativa e a terra são o material isolante dos condutores e o ar, que atuará como um dielétrico. Esta constituição é análoga ao que representa um condensador, existindo um dielétrico entre duas partes condutoras.

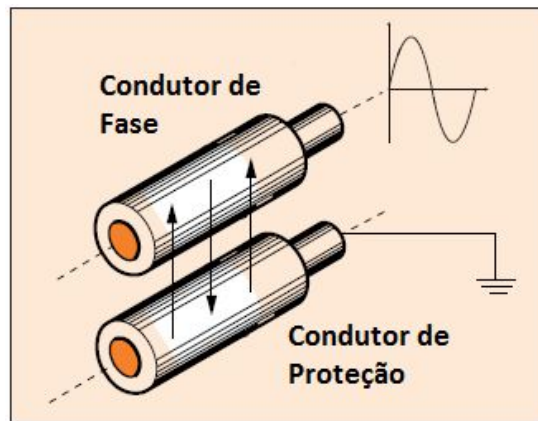


Figura 18 – Capacidade entre condutores [4]

Quanto maior for o comprimento das cablagens elétricas existentes, maior será a capacidade dos cabos em relação à terra da instalação. A capacidade das linhas depende da sua secção e do seu comprimento, assim como do tipo de isolante, ou dielétrico, que constitui o cabo.

Existindo uma capacidade, a impedância que elas representam em relação à terra irá variar em função da frequência da corrente. Assim, à medida que aumenta a frequência, a impedância capacitiva diminuirá, logo as correntes de fuga aumentarão como se pode comprovar pela seguinte dedução:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

$$I_c = \frac{U}{X_c}$$

$$I_c = U \cdot c \cdot 2\pi f$$

Assim podemos concluir que em instalações onde existam recetores que gerem elevadas correntes de fuga de alta frequência de forma permanente, estas circularão na sua grande parte pelas capacidades à terra de forma a retornar ao ponto neutro do transformador fechando o circuito com as fases.

O mesmo conceito aplica-se a correntes transitórias de muito curta duração na ordem dos  $\mu s$ . Estas fugas transitórias podem ser originadas por sobretensões de vários tipos, seja devido a descargas atmosféricas, fecho ou abertura de circuitos, etc. Estas correntes de fuga escoam à terra através das capacidades dos circuitos podendo circular de forma



desequilibrada e com uma intensidade de corrente suficiente para atuar os dispositivos diferenciais provocando disparos intempestivos.

De modo a evitar problemas de disparos intempestivos deve-se efetuar a máxima subdivisão possível de circuitos de modo a limitar o número de metros de cablagem a montante de um só diferencial, sendo aconselhável a colocação de um dispositivo diferencial para cada circuito. Na mesma medida, deve-se limitar o número de cargas com componentes eletrónicos que possuam filtros capacitivos ligados à massa alimentados por um diferencial, devendo ser feita uma distribuição das cargas. Além das precauções referidas devem ainda ser utilizados dispositivos diferenciais superimunizados [8].

## **2.6 Qualidade de energia e continuidade de serviço**

### **2.6.1 Aspetos gerais**

O conceito de qualidade de serviço está diretamente ligado à qualidade de energia elétrica. Este durante o longo período de tempo definiu-se apenas pela exigência de limites que eram impostos em relação a interrupções de serviço e variações da frequência e tensão.

Hoje em dia além destes parâmetros, uma rede com qualidade de serviço é aquela que apresenta os parâmetros adequados para o correto funcionamento dos recetores sendo estes definidos pela Norma IEC 61000.

A falta de qualidade de energia pode afetar maquinas e danificar equipamentos eletrónicos sensíveis, que cada vez mais são abundantes e indispensáveis numa indústria. A falha de equipamentos pode levar a avultados prejuízos por falta de produção de uma unidade fabril.

Neste capítulo irão ser apresentados alguns dos principais problemas de falta de qualidade de energia que ocorrem nas instalações elétricas industriais e as suas consequências para o correto funcionamento das mesmas.

### **2.6.2 Distorção Harmónica**

Harmónico é a componente de uma onda periódica que tem uma frequência que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da rede que é de 50Hz. A distorção harmónica total é a contribuição de todas as frequências harmónicas para a corrente fundamental.

Os harmônicos são uma consequência dos componentes eletrônicos usados hoje em dia na maior parte das instalações elétricas. Eles são gerados maioritariamente quando existe um grande número de computadores (cargas monofásicas), unidades de alimentação ininterruptas (UPS - *Uninterruptible Power Supply* - exemplo na Figura 19), variadores de frequência ou qualquer tipo de componentes eletrônicos que usam fontes de alimentação baseadas na eletrônica de potência.



Figura 19 – UPS – (*Uninterruptible Power Supply*)

Cargas não lineares geram distorção harmônica ao absorverem uma forma de onda de corrente em pulsos em vez de absorver uma corrente sinusoidal suave.

Os termos linear e não linear referem-se à relação entre a onda da corrente e da tensão absorvida por uma carga. Uma carga é considerada linear quando existe uma relação linear entre a forma de onda da tensão e da corrente. Uma carga é considerada não linear quando existe uma descontinuidade da forma de onda da corrente não havendo uma correspondência com a forma de onda da tensão, tal como se pode verificar na Figura 20.

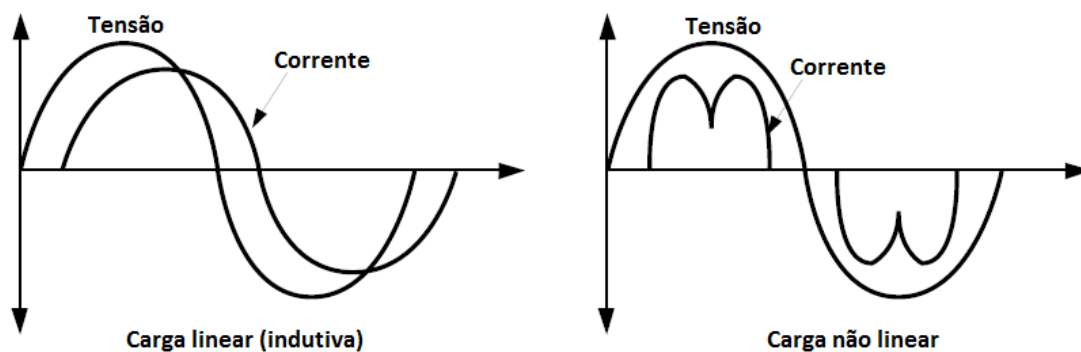


Figura 20 – Diferença entre a forma de onda de uma carga linear e não linear [9]

Todos os variadores de frequência geram distorção harmónica devido à natureza do retificador. Estes são na sua maioria compostos por retificadores de 6 pulsos que geram principalmente harmónicos de 5ª e 7ª ordem. Alguns fabricantes de variadores de maior potência optam por retificadores de 12 pulsos, que eliminam até certo grau os harmónicos de 5ª e 7ª ordem, mas amplificam os harmónicos de 11º e 13º ordem.

A forma de onda da corrente distorcida ao percorrer a impedância da linha de alimentação gera uma queda de tensão que se define como distorção harmónica da tensão. Esta relação é proporcional à corrente de defeito disponível e à impedância das alimentações da unidade industrial.

A norma IEC 61000-2-4 estabelece os níveis máximos de distorção harmónica da tensão para redes industriais. Estes dividem-se em três classes:

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
<b>Distorção Harmónica Total</b>	5%	8%	10%

Tabela 5 – Níveis máximos de distorção harmónica na tensão segundo a Norma IEC 61000-2-4

- **Classe 1**, que se aplica a redes que alimentem equipamentos muito sensíveis a perturbações da rede eléctrica, como por exemplo, equipamentos de instrumentação;
- **Classe 2**, aplica-se aos pontos de acoplamento comum à rede pública e aos pontos de ligação interna nas instalações industriais, seja no Quadro de Entrada ou QGBT de uma instalação;

- **Classe 3**, aplica-se somente aos pontos de ligação interna de ambientes industriais, como alimentação de um grupo de máquinas através de conversores de frequência, máquinas de soldar, locais onde ocorram arranques frequentes de motores de grande potência e com grande variação de carga.

Valores até 10% de THDI não consideram perigo para a instalação. Valores acima disso afetam principalmente a rede de distribuição até ao retificador:

- Sobreaquecimento de condutores: correntes harmônicas em condutores subdimensionados pode levar ao surgimento do efeito pelicular, que aumenta com a frequência;
- Transformadores: as correntes harmônicas levam a maiores perdas no ferro devido a correntes de Foucault que por sua vez levam ao sobreaquecimento dos enrolamentos do transformador;
- Fusíveis e disjuntores: os harmônicos podem causar disparos intempestivos danificando ou explodindo componentes sem motivo aparente;
- Harmônicos de 3º ordem levam ao aumento da corrente no condutor de neutro.
- Geradores: sofrem de problemas semelhantes aos do transformador. Correntes harmônicas excessivas levam a que existam múltiplas passagens da corrente pelo zero, o que afeta o “timing” do regulador de tensão levando a interferências e instabilidade de operação.

Distorção harmônica da tensão pode afetar outros equipamentos ligados à mesma instalação elétrica:

- Falhas em equipamentos de telecomunicações, computadores, monitores, equipamentos eletrônicos de teste, etc.;
- Ressonância em condensadores de correção de fator de potência;
- Perda de rendimento de motores elétricos.

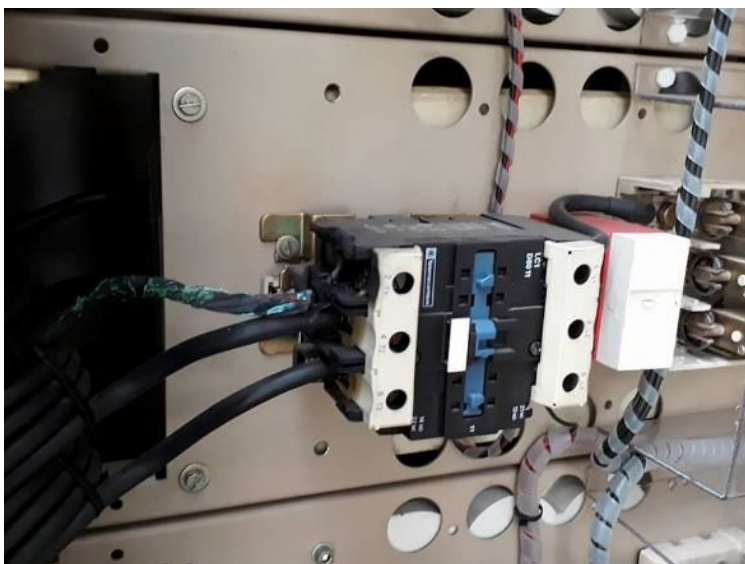


Figura 21 – Contactor de bateria de condensadores danificado por sobreaquecimento

O valor da distorção harmónica na tensão não deve exceder os 5% em cada componente harmónico. Um valor de THDU inferior a 5% é considerado como normal, não havendo qualquer tipo de disfuncionamento. Entre 5 e 8% começa a ser possível a ocorrência de disfuncionamentos de equipamentos mais sensíveis sendo que para valores acima de 8% bastante provável a ocorrência de disfuncionamentos na instalação, sendo necessária uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos atenuadores.

### 2.6.3 Efeito pelicular

Efeito pelicular refere-se ao fenómeno da desequilibrada distribuição da corrente pela secção de um condutor. É um fenómeno com bastante impacto nas linhas de transporte de energia eléctrica, principalmente para linhas de longa distância.

A distribuição da corrente eléctrica pela secção de um condutor é bastante uniforme quando um condutor é percorrido por uma corrente contínua. O mesmo não acontece quando um condutor é percorrido por uma corrente alternada uma vez que a corrente tende a fluir com maior densidade pela periferia do condutor, limitando efetivamente a secção disponível onde a corrente pode circular, o que se traduz num aumento da resistência para valores superiores ao que teria se nesse condutor circula-se uma corrente contínua.

Uma corrente alternada a circular num condutor cria um campo magnético que se fecha no núcleo do próprio condutor. Imaginando um condutor formado por vários filamentos, cada um destes filamentos irá transportar corrente eléctrica e por sua vez irá criar um campo

magnético. Os filamentos que estão mais próximos do núcleo do cabo vão ter uma ligação de fluxo com todo o cabo, incluindo os filamentos na superfície assim como os filamentos presentes no núcleo. Por outro lado, o fluxo gerado pelos filamentos presentes na superfície do cabo está restrito à superfície não sendo capaz de fechar o fluxo com os filamentos do núcleo. Assim, o fluxo magnético aumenta à medida que nos aproximamos do núcleo do condutor e ao mesmo tempo aumenta a indutância uma vez que tem uma relação diretamente proporcional com o fluxo magnético. Isto resulta numa maior reactância indutiva presente no núcleo do condutor quando comparado com a superfície do mesmo o que leva a que a corrente não seja distribuída uniformemente pela secção disponível forçando a corrente a circular maioritariamente pela superfície do condutor.

Isto resulta em duas grandes desvantagens, a perda de energia devido às perdas de joule extra e o desperdício de material, cobre ou alumínio, devido à maior quantidade de material que na prática não está a ser devidamente aproveitado como condutor.

O efeito pelicular é afetado por vários fatores:

- Forma do condutor;
- Tipo de material que forma o condutor;
- Diâmetro do condutor;
- Frequência de operação.

Em instalações elétricas industriais o efeito pelicular normalmente é desprezado, contudo, quando na presença de distorção harmónica em que existem frequências múltiplas de 50Hz, sendo o 3º e 11º harmónico os que mais influência têm, o efeito pelicular pode ser um grave problema levando ao aumento das perdas e sobreaquecimento dos condutores [7].

#### **2.6.4 Fator de Crista**

O fator de crista é a relação entre o valor de pico da onda de tensão ou corrente, e o seu valor eficaz RMS. Para um sinal sinusoidal, o valor de crista é igual a  $\sqrt{2}$ , para um sinal não sinusoidal, o fator de crista pode ser superior ou inferior a  $\sqrt{2}$ . Normalmente a forma de onda da corrente imposta por cargas não lineares apresenta fatores de crista muito superiores a  $\sqrt{2}$ , geralmente entre 1.5 e 2, mas pode atingir 5 em casos mais críticos.

Como se pode constatar na Figura 22 apesar de a forma de onda representada possuir um elevado valor de pico, o seu valor eficaz será muito baixo.

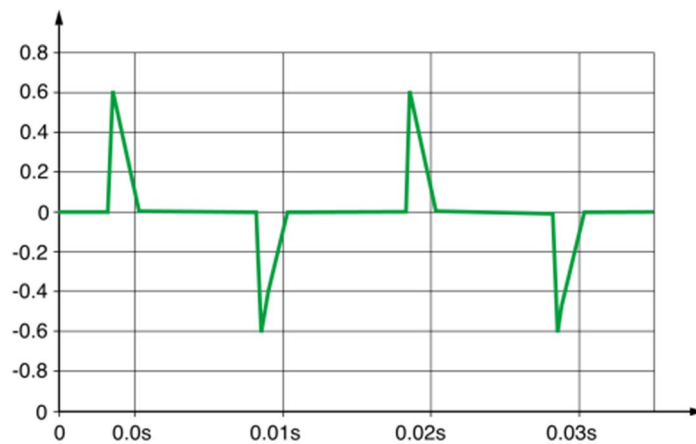


Figura 22 – Forma de onda típica de uma lâmpada fluorescente compacta [3]

Um elevado fator de crista significa elevados picos de corrente, que podem ser detetados pelos dispositivos de proteção e causar disparos intempestivos.

### 2.6.5 Cava de Tensão

Uma cava de tensão é um abaixamento do nível da tensão de alimentação para um valor situado entre 90% e 1% da tensão composta durante um período entre 10ms e 1 min.

As cavas de tensão podem ser originadas por defeitos nas redes de distribuição ou nas próprias instalações elétricas. Uma causa comum passa por defeitos nas cablagens, como por exemplo um aperto defeituoso com uma elevada impedância que causa uma grande queda de tensão quando existe uma solicitação de corrente muito elevada. O arranque de grandes cargas, tais como motores ou a magnetização de grandes transformadores, pode levar ao abaixamento da tensão ao ponto de se poder considerar como cavas de tensão.

Os variadores de velocidade para motores de indução são equipamentos muito sensíveis a cavas de tensão. O comportamento do equipamento a este tipo de fenómeno varia conforme o fabricante, mas de um modo geral entram em alarme quando o abaixamento da tensão excede os 15% por mais de 200ms. Variadores de maior potência são geralmente mais sensíveis a cavas de tensão sendo que em muitos casos uma cava com 10% de profundidade e duração de 100ms pode ser suficiente para interromper o normal funcionamento do mesmo. O mesmo acontece para equipamentos eletrónicos em geral sendo por isso recomendado que as cargas mais sensíveis sejam alimentadas a partir de uma UPS.

### 2.6.6 Sobreensões transitórias

Uma sobreensão transitória refere-se a um pico de tensão superior à tensão nominal que ocorre num período de tempo muito curto. A principal causa deste tipo de fenómeno deve-se a descargas atmosféricas. Mesmo nas condições mais favoráveis com uma boa ligação à terra, existem sempre uma onda de choque que se propaga a toda a instalação. Não é necessário que uma descarga atmosférica atinja diretamente uma instalação para provocar estragos. A diferença de potencial entre diferentes pontos pode atingir alguns kV o que origina níveis de corrente muito elevados. O método mais eficaz para minimizar este tipo de risco passa pela equipotencialização de todos os circuitos de proteção da instalação.

### 2.6.7 Efeitos da distorção harmónica em transformadores

Os problemas causados pelas correntes harmónicas passam pelo aquecimento de cabos, especialmente o condutor de neutro, sobreaquecimento e vibração em motores de indução.

Nos transformadores, as correntes harmónicas levam ao aumento das perdas, fadiga dos materiais isoladores, falhas prematuras e redução do tempo de vida útil do transformador.

As perdas nos transformadores devem-se às perdas magnéticas no núcleo, correntes de Foucault e perdas por efeito de joule nos enrolamentos. Destas, são as perdas por correntes de Foucault as que mais são afetadas quando na presença de correntes harmónicas, uma vez que elas aumentam aproximadamente ao quadrado da frequência.

#### - Transformadores “K-Rated” vs “Fator K”

Existem duas soluções possíveis para ter em conta no momento da escolha de um transformador para redes poluídas com distorção harmónica na corrente.

A primeira, maioritariamente utilizada nos Estados Unidos da América, trata-se de dimensionar os transformadores para suportar as correntes harmónicas. É feita uma análise através do cálculo do “*K-Factor*” e do aumento das perdas no transformador relacionadas com as correntes harmónicas, sendo o transformador depois construído de modo a suportar essas correntes. Estes transformadores específicos para redes poluídas com distorção harmónica são denominados como transformadores *K-Rated* [12].

A segunda, usada na Europa, é basicamente estimar qual a depreciação a aplicar a um transformador de modo a que as perdas totais com cargas harmónicas não excedam as perdas



para o qual este foi dimensionado. Esta depreciação é conhecida como “Fator K”. O facto de ambos os métodos utilizarem a letra “K” pode levar a confusão.

A grande vantagem de um transformador *K-Rated* é que este foi desenvolvido atendendo às correntes harmónicas, deste modo as perdas serão baixas. Por exemplo, as perdas por correntes de Foucault serão reduzidas pelo uso de materiais especiais. As ligações do ponto neutro do transformador são levadas individualmente, o que significa que o neutro tem uma corrente nominal três vezes superior.

Por outro lado, aplicar um fator de depreciação a um transformador comum tem algumas desvantagens. Uma vez que o transformador está sobredimensionado, a proteção de sobreintensidades do primário poderá ser demasiado alta para proteger o secundário, mas se a regulação da proteção for reduzida, poderão ocorrer disparos intempestivos. Outra desvantagem é que o transformador é menos eficiente, as perdas devido às correntes harmónicas continuam presentes, logo continuam a ser geradas e dissipadas perdas no transformador, e um núcleo maior, com mais perdas, está a ser magnetizado. Contudo, o maior problema de aplicar um fator de depreciação ao transformador, está na manutenção do mesmo. Ou seja, um transformador que já esteja ao serviço há muitos anos numa determinada instalação, pode ocorrer a situação de lhe serem adicionadas novas cargas sem ter consideração o fator de depreciação aplicado originalmente.

### **2.6.8 Fator de Potência e $\cos \phi$**

O fator de potência baseia-se em duas noções básicas, a potência ativa e a potencia aparente. A potencia ativa P, expressa em kW, é a potencia real transmitida às cargas tais como motores, luminárias, aquecedores e computadores. A potencia ativa é convertida em energia mecânica, calor ou luz. A potência aparente S, expressa em kVA, é o produto entre a tensão eficaz aplicada a um circuito e a corrente eficaz que nele circula. A potência aparente é utilizada para denominar a potencia nominal dos equipamentos eléctricos.

O fator de potência é a relação entre a potência ativa P (kW) e a potencia aparente S (kVA):

$$\lambda = \frac{P(kW)}{S(kVA)}$$

O valor de fator de potencia vai variar entre 0 e 1.

Na prática, a grande parte das cargas elétricas são de natureza indutiva assim como as linhas de transporte e distribuição de energia. O resultado de corrente de natureza indutiva a circular em reactâncias forma as piores condições para a queda de tensão. Deste modo as principais razões para diminuir a potência reativa são:

- Perdas no transporte e distribuição de energia;
- Quedas de tensão.

Deste modo as grandes desvantagens de um elevado consumo de potencia reativa não é para o consumidor final, mas sim para o operador da rede de distribuição. Por este motivo o consumo de energia reativa é penalizado pelo comercializador de energia de modo a incentivar os consumidores a reduzirem o consumo de energia reativa.

A energia reativa é faturada de acordo com o critério da  $\tan \varphi$  sendo que atualmente esta é faturada ao cliente no período de horas cheias se a  $\tan \varphi$  for superior a 0,3 que se traduz num  $\cos \varphi$  de 0,96.

$$\tan \varphi = \frac{Q \text{ (kVAr)}}{P \text{ (kW)}}$$

Num circuito puramente resistivo a forma de onda da corrente está em fase com a forma de onda da tensão, o que significa que a potencia ativa é igual a potencia aparente, contudo, grande parte das cargas elétricas necessitam de criar um campo magnético para o seu normal funcionamento. Este campo magnético é formado pela circulação de corrente em bobinas são de natureza indutiva, ou seja, a forma de onda da corrente que circula nestas bobinas está em atraso em relação à forma de onda da tensão por um ângulo  $\varphi$  e representa a potencia reativa absorvida pela máquina.

Em contrapartida, quando a forma de onda da corrente quando circula num condensador está em avanço em relação à forma de onda da tensão. Deste modo o vetor da corrente correspondente está em oposição ao vetor da corrente de cargas indutivas. Por este motivo os condensadores são usados para compensar a potencia reativa absorvida por cargas indutivas.

Se a forma de onda da alimentação de um circuito for uma senoide perfeita, então o fator de potencia será igual ao cosseno do ângulo  $\varphi$  representado no seguinte diagrama:

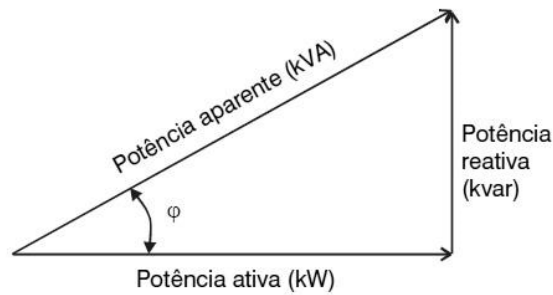


Figura 23 – Triângulo das potências

Através do triângulo das potências podemos então chegar a uma simples relação entre as potências:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Contudo, se tensão de alimentação não for formada por uma senoide perfeita, devido a distorção harmónica da tensão, então a relação entre a potência aparente e a potência ativa pode não ser igual ao cos de  $\varphi$ .

$$\lambda = \frac{P(kW)}{S(kVA)}$$

$$P = U_1 * I_1 * \cos \varphi \quad \& \quad S = U_1 * I_{rms}$$

$$\text{logo,} \quad \lambda = \frac{U_1 * I_1 * \cos \varphi}{U_1 * I_{rms}}$$

$$\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

$$\text{logo,} \quad \lambda = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD_i^2}}$$

Assim podemos concluir que na prática, cos de  $\varphi$  e fator de potência não são a mesma coisa, visto que o cos de  $\varphi$  se refere apenas ao desfaseamento propriamente dito entre as formas de onda da tensão e corrente da componente fundamental, enquanto que o fator de potência também entra com a componente harmónica, que hoje em dia é presença comum nos mais variados tipos de instalação elétrica.

### 2.6.9 Filtros passivos de harmónicos

A presença de distorção harmónica em sistemas eléctricos significa que a forma de onda da tensão e corrente estão distorcidas deixando de ser sinusóides perfeitas.

Os condensadores são cargas lineares, pelo que não geram distorção harmónica, contudo são especialmente sensíveis a componentes harmónicas devido ao facto da reactância capacitiva diminuir à medida que a frequência aumenta:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

Na pratica isto significa que a corrente que circula nos condensadores em redes poluídas é muito superior à corrente que circularia no caso de apenas existir a frequência fundamental. Basta uma pequena componente harmónica para que um grande valor de corrente circule numa bateria de condensadores. Maior corrente significa maiores perdas por efeito de joule o que pode levar ao sobre aquecimento do condensador degradando o seu dieléctrico e eventualmente causando a sua falha.

A ligação de baterias de condensadores puros para correção de fator de potencia resulta numa amplificação da distorção harmónica da corrente ao nível do barramento e aumentam a distorção harmónica na tensão.

Num circuito RLC quando L e C têm reactâncias absolutas iguais, elas estão na chamada frequência de ressonância. O que

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

De modo à corrente estar em fase com a tensão, então a parte imaginária tem que ser zero. Isolando o  $\omega$  da parte imaginária da formula anterior:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Quando a anterior formula for verdade, estamos em situação de frequência de ressonância, ou seja, a indutância e a capacitância estão se a anular simultaneamente uma à outra pelo que, do ponto de vista da fonte de alimentação é como se tratasse de um circuito puramente resistivo. Em determinados circuitos esta condição pode significar a ocorrência de correntes

de curto circuito. Ou seja, na prática é como se o circuito fosse puramente resistivo, o que em alguns casos pode ser considerado um curto circuito.

De forma a atenuar os efeitos da distorção harmónica em condensadores puros, aumento significativo da corrente no condensador e aumento da distorção da tensão, devem ser usadas reactâncias de blocagem associadas com os condensadores. As reactâncias devem ser ligadas em série com os condensadores, sintonizadas de modo a que a frequência de ressonância da associação serie seja numa frequência não harmónica, para evitar que os condensadores possam ser sobrecarregados facilmente.

Os valores nominais das reactâncias são normalmente especificados em percentagem da potencia reativa nominal dos condensadores a 50Hz. O uso de reactâncias de blocagem evita os problemas de ressonância, evita o risco de sobrecarga dos condensadores e ajuda a reduzir a distorção harmónica da tensão.

## **2.7 Dimensionamento e proteção de canalizações elétricas de baixa tensão**

### **2.7.1 Aspetos gerais**

O dimensionamento e proteção de canalizações elétricas baseia-se em pressupostos legais definidos em Portugal pelas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

O objetivo fundamental do dimensionamento é determinar a secção do cabo ou condutor a instalar e a corrente estipulada do respetivo dispositivo de proteção de forma a cumprir com as condições técnicas aplicáveis.

Os cabos e dispositivos de proteção devem garantir uma série de condições em toda a sua extensão, de modo a garantir a segurança e fiabilidade da instalação. Estes devem estar preparados para suportar a corrente que irá circular em condições normais, assim como as sobreintensidades que possam ocorrer por curtos períodos de tempo. As condições de queda de tensão também devem ser cumpridas de modo a garantir o bom funcionamento de todas as cargas.

De forma geral, deve ser escolhida a menor secção possível a partir do momento em que esta satisfaz as condições de dimensionamento de forma a diminuir o investimento económico. Esta situação nem sempre é verdade, uma vez que uma secção menor irá ter maiores perdas

por efeito de Joule pelo que a longo prazo pode significar um maior custo de exploração devido ao custo da energia elétrica.

O primeiro passo deve passar por efetuar uma análise preliminar das necessidades de potência da instalação, de modo a determinar as cablagens e suas proteções desde a origem da instalação, passando por circuitos intermédios até ao ponto de utilização.

### 2.7.2 Corrente de serviço e corrente admissível

Denominamos por **corrente de serviço ( $I_b$ )** como a corrente máxima que irá circular no circuito em condições normais e corresponde a potência nominal das cargas (kVA). Se aplicável poderão ser utilizados fatores de simultaneidade e de utilização.

Após a determinação da corrente de serviço deve ser escolhido um cabo que possua uma **corrente admissível ( $I_z$ )** superior à corrente de serviço ( $I_b$ ) do circuito. Denomina-se por  $I_z$  como a corrente máxima admissível que a cablagem do circuito suporta de forma permanente, sem detorar as suas características nem reduzir o seu tempo de vida útil. Esta corrente depende da secção do cabo tendo em conta vários parâmetros:

- Material da alma condutora e do isolamento;
- Temperatura ambiente;
- Método de instalação;
- Tipo de tensão, trifásica ou monofásica

A corrente admissível ( $I_z$ ) pode ser afetada por um ou mais **fatores de correção** tendo em conta a situação de instalação ou características do ambiente onde se insere. Geralmente os fatores de correção aplicam-se devido:

- Agrupamento de cabos;
- Temperatura ambiente ou do solo;
- Presença de distorção harmónica na instalação elétrica.

Os fatores a aplicar são multiplicativos, ou seja, a referencia torna o valor 1, podendo-se aplicar por exemplo um fator de correção de 0,9 reduzindo assim a corrente admissível da canalização para 90%. O valor a considerar quando na verificação das condições de dimensionamento será sempre o valor de  $I_z$  após correções.

Os valores de correntes admissíveis, assim como fatores de simultaneidade e fatores de correção podem ser consultados nas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

### 2.7.3 Condições de Queda de tensão

A impedância dos condutores dos circuitos é baixa, mas não desprezável. Quando se transporta energia há sempre uma diferença de potencial entre a origem do circuito e aos terminais da carga que alimenta.

Para o correto funcionamento de uma carga, por exemplo um motor ou um circuito de iluminação, é necessário a tensão aos seus terminais ser mantida em valores constantes e próximos dos seus valores nominais. É, portanto, necessário dimensionar os condutores de modo a que, em condições de funcionamento à plena carga, a tensão possa ser mantida de forma constante nos seus valores nominais necessários ao correto funcionamento das cargas.

Os valores máximos permissíveis de queda de tensão referem-se a condições de funcionamento estáveis e não se aplicam por exemplo ao momento em que há arranque de motores, ou momentos em que se ligam ou desligam cargas.

Quando a queda de tensão excede os valores apresentados na Tabela 6, devem ser usados cabos de maior secção para corrigir e cumprir a condição

<b>Tipo de Instalação</b>	<b>Iluminação</b>	<b>Outros usos</b>
<b>A – Instalações alimentadas diretamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão</b>	3 %	5 %
<b>B – Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT</b>	6 %	8 %

Tabela 6 – Quedas de tensão máximas admissíveis [1]

Sempre que possível as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A, uma vez que, apesar de permitido, o valor de 8% pode levar a problemas em motores, por exemplo:

Em geral, um motor requer uma tensão entre +/- 5% do seu valor nominal em condições de funcionamento contínuo. A corrente de arranque de um motor pode atingir 5 a 7 vezes o

valor da sua corrente nominal. Se isto acontecer numa condição de queda de tensão de 8%, então haverá uma queda de até 40% da tensão no arranque da máquina. Nestas condições o motor pode:

- Permanecer estacionário, devido a falta de binário para vencer o binário estacionário, que levará ao sobreaquecimento da máquina;
- Arrancar muito lentamente, sendo que a alta corrente de arranque se irá manter por um período mais longo do que o normal.

Um valor de queda de tensão de 8% representa também uma perda de energia constante, que para cargas com regime de carga elevados e contínuos pode levar a um desperdício significativo de energia.

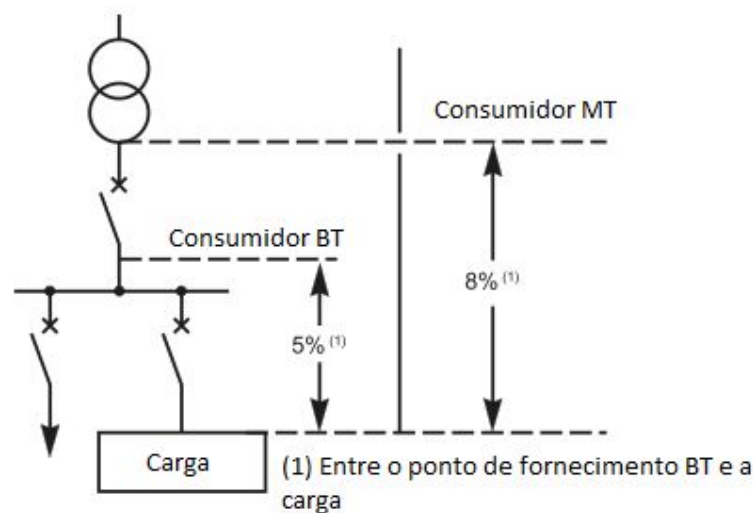


Figura 24 – Queda de tensão máxima admissível [1]

#### 2.7.4 Proteção contra sobreintensidades

Sempre que a corrente do circuito excede a corrente  $I_b$  do circuito estamos perante uma sobreintensidade. Na ocorrência de uma sobreintensidade os dispositivos de proteção devem garantir a abertura do circuito antes que ocorra algum dano permanente no cabo.

Este tipo de sobre correntes podem ser separadas em dois tipos:

- **Sobrecargas**, quando na presença de uma corrente ligeiramente acima do normal, normalmente devido a algum equipamento em mau estado, ou a funcionar em valores de carga acima do nominal. Se estas correntes



persistirem por mais que determinado período de tempo, o circuito será interrompido;

- **Curto-circuito**, quando na presença de uma corrente muito superior ao normal, resultantes de uma falha de isolamento entre condutores carregados, ou entre um condutor carregado e a massa.

O dispositivo de proteção deve estar situado na origem do circuito que visa proteger. Este atuará como limitador da corrente que passa no circuito, abrindo o circuito num tempo inferior do que a característica  $I^2t$  do cabo em questão, contudo permitirá que circule no circuito um valor de corrente igual a  $I_b$  por tempo indeterminado.

As características dos condutores isolados que conduzam correntes de curto circuito podem, para períodos de até 5 segundos a partir do momento em que se deu o curto circuito, serem determinadas de forma aproximada pela fórmula:

$$I^2t = k^2 S^2$$

Que mostra que o calor gerado permitido é proporcional ao quadrado da secção do condutor, onde:

- $t$  = duração do curto circuito (segundos)
- $S$  = secção do cabo em  $\text{mm}^2$
- $I$  = corrente de curto circuito (A rms)
- $k$  = constante do condutor isolado

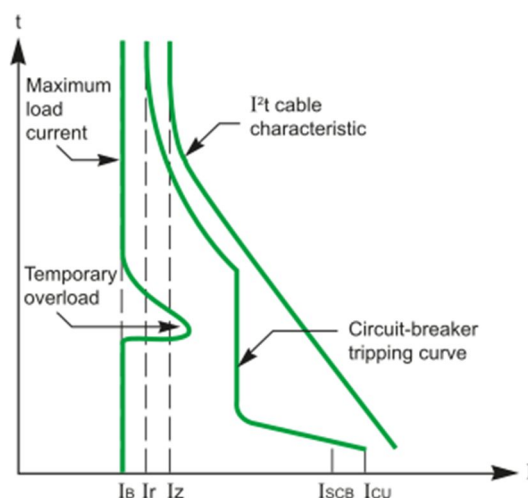


Figura 25- Proteção de circuito por disjuntor

Um dispositivo de proteção contra sobreintensidades funciona corretamente se:

- A sua corrente nominal ou a corrente para o qual está regulado é maior do que a corrente  $I_b$  do circuito mas menor do que a corrente admissível  $I_z$  do cabo.  
 $I_b < I_n < I_z$ ;
- A corrente convencional de atuação  $I_2$  é menor do que  $1.45 \times I_n$ .  $I_2$  é o valor de corrente que irá fazer atuar proteção no tempo convencional. No caso de disjuntores esta condição estará sempre garantida uma vez que a corrente  $I_2$  será sempre menor do que  $1.45 \times I_n$ ;
- O seu poder de corte é superior à corrente de curto circuito entre fases no seu ponto da instalação.

#### **2.7.4.1 Dispensa da proteção contra sobrecargas**

Com exceção das instalações estabelecidas em locais com riscos de incêndio ou explosão, ou quando as regras relativas às instalações especiais não o permitam, é admissível não prever dispositivo de proteção contra sobrecargas nos seguintes casos:

1. A canalização situada a jusante de uma modificação da secção, da natureza, do modo de colocação ou constituição se estiver efetivamente protegida contra as sobrecargas por um dispositivo de proteção colocado montante;
2. A canalização não é suscetível de ser percorrida por correntes de sobrecarga, se estiver protegida contra curto-circuitos e não tiver derivações ou tomadas.

#### **2.7.5 Curto circuitos**

Numa instalação elétrica é sempre necessário existir proteção contra curto-circuitos, devendo estar garantida a proteção em toda a sua extensão. O ponto mais comum para a colocação dos dispositivos de proteção é quando existe uma alteração da secção do condutor. Existem dois valores de corrente de curto circuito que devem ser calculados:

- A corrente de curto circuito máxima que é calculada para determinar:
  - O poder de corte dos disjuntores;
  - A capacidade das canalizações para aguentar os esforços eletrodinâmicos.

Esta corrente corresponde a um curto circuito imediatamente a montante dos terminais do disjuntor de saída. É um parâmetro que deve ser calculado com uma boa precisão sendo boa prática deixar uma margem de segurança.

O segundo valor de corrente de curto circuito que deve ser calculado é a corrente de curto circuito mínima que é essencial para determinar a curva de atuação dos disjuntores, em particular quando os cabos são longos ou a impedância da fonte é relativamente elevada, como no caso de alimentação por UPS ou por grupo gerador. Este valor toma especial importância no caso da proteção de pessoas está dependente da atuação dos dispositivos contra sobre intensidades que é o caso das instalações com esquema de ligação à terra do tipo TN. A corrente de curto circuito mínima corresponde à corrente de curto circuito que ocorre no ponto mais afastado da linha a proteger, sendo geralmente um gerado por um defeito fase-massa nas condições de funcionamento menos severas, por exemplo, no ponto mais distante do dispositivo de proteção, ou por exemplo, quando está a ser alimentado por um gerador de reserva ao invés da alimentação normal. Isto significa que é a corrente mais baixa que uma situação de curto circuito pode gerar. Seja qual for o tipo de curto circuito e as suas condições, o dispositivo de proteção terá que atuar dentro do tempo compatível com os esforços térmicos.

#### **2.7.5.1 Curto-circuito no secundário do transformador**

Numa abordagem simplificada, a impedância da linha de Média Tensão pode ser desprezada, uma vez que a maior parte das instalações, mesmo que alimentadas em Média Tensão, são alimentadas a partir de uma Subestação de grandes dimensões com elevadas potências de curto circuito pelo que a sua influência nas correntes de curto circuito em BT é praticamente zero. Assim a corrente de curto circuito no secundário do transformador MT/BT é dada por:

$$I_{cc} = \frac{I_n * 100}{U_{cc} (\%)}$$

Onde:

$$I_n = \frac{S * 10^3}{U_{20} \sqrt{3}}$$

- S = potência nominal do transformador em kVA;
- $U_{20}$  = tensão entre fases no secundário do transformador em circuito aberto;

- $I_n$  = Corrente nominal do transformador em Ampere;
- $I_{cc}$  = Corrente de curto circuito do transformador em Ampere;
- $U_{cc}$  = tensão de curto circuito em %.

#### 2.7.5.2 Curto circuito no caso de vários transformadores em paralelo

O paralelo de transformadores pode ser feito quando estes pertencem ao mesmo grupo horário e tenham iguais tensões de curto-circuito. O valor da corrente de curto circuito que ocorra num circuito imediatamente a jusante do barramento principal pode ser estimada através da soma das correntes de curto circuito de cada transformador calculadas separadamente, tal como representado na Figura 26.

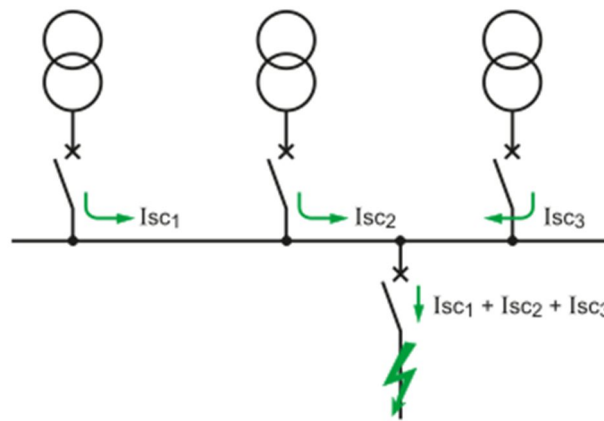


Figura 26 – Corrente de curto-circuito quando alimentado por transformadores em paralelo

Assume-se que todos os transformadores são alimentados pela mesma rede de Média Tensão, sendo que os valores independentes, quando somados, darão uma corrente de curto circuito ligeiramente superior ao que acontecerá na realidade. Isto deve-se ao facto de estarmos a desprezar a impedância dos cabos que alimentam o barramento, e a impedância do próprio barramento. O valor obtido, de certa forma conservador, é suficiente para dimensionar corretamente a instalação, devendo-se escolher o poder de corte das proteções conforme os resultados obtidos.

### 2.7.5.3 Curto circuito trifásico em qualquer ponto da instalação

Numa instalação trifásica a corrente de curto circuito em qualquer ponto da instalação é dada por:

$$I_{cc} = \frac{c \cdot U_{20}}{\sqrt{3} Z_t}$$

Onde,

- $U_{20}$  = Tensão composta de circuito aberto do secundário do transformador;
- $Z_t$  = Impedância total por fase, do local de defeito até à fonte.
- $c = 1,1$  para o calculo de  $I_{cc}$  max e  $0,95$  para o calculo de  $I_{cc}$  mínimo.

### 2.7.6 Dimensionamento do condutor de neutro

Nos esquemas TT e TN-S para a escolha da secção do neutro deve-se ter em conta as seguintes condições:

- Em circuitos monofásicos com secção de fase  $\leq 16\text{mm}^2$  (cobre) e  $\leq 25\text{mm}^2$  (alumínio), a secção do neutro deve ser igual à secção das fases.
- Em circuitos trifásicos de secção de fase  $> 16\text{mm}^2$  (cobre) e  $> 25\text{mm}^2$  (alumínio) a secção do neutro pode ser igual à secção das fases ou menor nas seguintes condições:
  - A corrente que irá percorrer o neutro em condições normais de funcionamento é menor do que a corrente admissível do cabo. Deve-se ter em conta a influencia dos harmónicos de ordem impar;
  - O condutor de neutro está protegido contra curto-circuitos;
  - A secção do neutro é pelo menos  $16\text{mm}^2$  para o cobre e  $25\text{mm}^2$  para alumínio.

No esquema TN-C aplicam-se as mesmas regras, contudo, deve-se ter em conta de que o neutro também funcionará como condutor de proteção, e em nenhuma circunstância poderá ser interrompido.

Os harmónicos são gerados por cargas não lineares na instalação e podem produzir elevadas correntes no Neutro. Os harmónicos de ordem impar tendem a somar-se algebricamente no neutro uma vez que:

- As correntes fundamentais estão desfasadas em  $2\pi/3$  logo a sua soma é zero;

- Os harmónicos de ordem impar estão sempre na mesma posição em relação à fundamental, e estão em fase uns com os outros.

Na prática, a carga máxima do condutor de neutro não excede  $\sqrt{3}$  tal como se pode verificar na Figura 27.

Os cálculos básicos de dimensionamento de cablagem elétrica apenas consideram cabos com 3 condutores carregados, assumindo que não há corrente a circular no condutor de neutro. Devido à distorção harmónica irá circular corrente no condutor de neutro, que poderá levar a aquecimento do cabo, deste modo, é necessário aplicar um fator de depreciação aos condutores de fase, de modo a limitar a corrente no neutro.

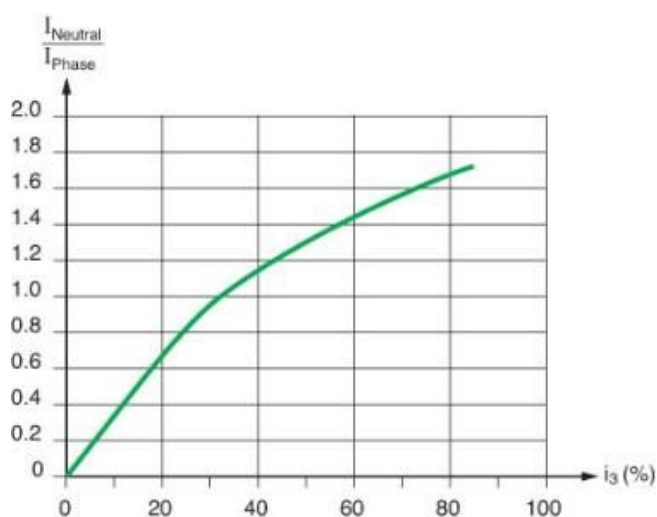


Figura 27 – Carga do condutor de neutro vs percentagem de distorção harmónica [3]

O fator de depreciação, aplicado aos condutores de fase, também tem em conta o efeito de aquecimento dos condutores.

Quando é expectável que a corrente no neutro seja superior à corrente nas fases, então a secção do cabo deverá ser dimensionada em relação à corrente que circulará no neutro.

Para o efeito a Norma IEC 60364-5-52 indica os fatores de depreciação a considerar no dimensionamento de canalizações elétricas com presença de distorção harmónica em função da percentagem de distorção harmónica da corrente presente ou expectável para a canalização em questão, tal como se pode verificar na Tabela 7.

Distorção harmónica da corrente (%)	Fator de depreciação	
	Dimensionamento baseado na corrente da fase	Dimensionamento baseado na corrente do neutro
0 – 15	1.0	-
15 – 33	0.86	-
33 – 45	-	0.86
> 45	-	1.0

Tabela 7- Fator de depreciação a aplicar no dimensionamento de cabos com correntes harmónicas de acordo com a IEC 60364-5-52

Se a corrente no neutro for superior a 135% da corrente das fases e a escolha da secção é feita com base na corrente do neutro, então os três condutores de fase não estarão à sua capacidade máxima. A redução de calor gerado pelos condutores de fase, equilibra o calor gerado pelo condutor de neutro ao ponto de não ser necessário aplicar nenhum fator de depreciação aos condutores de fase.

### 2.7.7 Canalizações pré-fabricadas

Além da utilização de cabos tradicionais, as instalações elétricas podem ser constituídas por canalizações pré-fabricadas, os chamados barramentos “*BusBar*” ou também normalmente designados por “Canalis”.

A utilização de barramentos *busbar* implica uma descentralização da distribuição e respetivas proteções.

Uma clara vantagem deste sistema é a simplificação da distribuição, com apenas uma saída do quadro principal para alimentar todos os recetores finais. Isto vai reduzir a quantidade de material e energia dissipada o que pode levar a uma poupança em relação a uma distribuição descentrada. Isto permite também alguma flexibilidade em unidades fabris com frequente mudança de máquinas produtivas, sendo o comprimento da cablagem de alimentação da máquina a substituir muito mais curto, o que implica menos custos com a alteração. O inverso pode acontecer se a unidade fabril sofrer mudanças de layout produtivo muito acentuadas, ou seja, uma zona onde se encontram máquinas produtivas podem passar a zonas com diferentes fins, e nesse caso o custo da remoção do barramento será mais acentuado do que se tratando de uma distribuição centralizada.

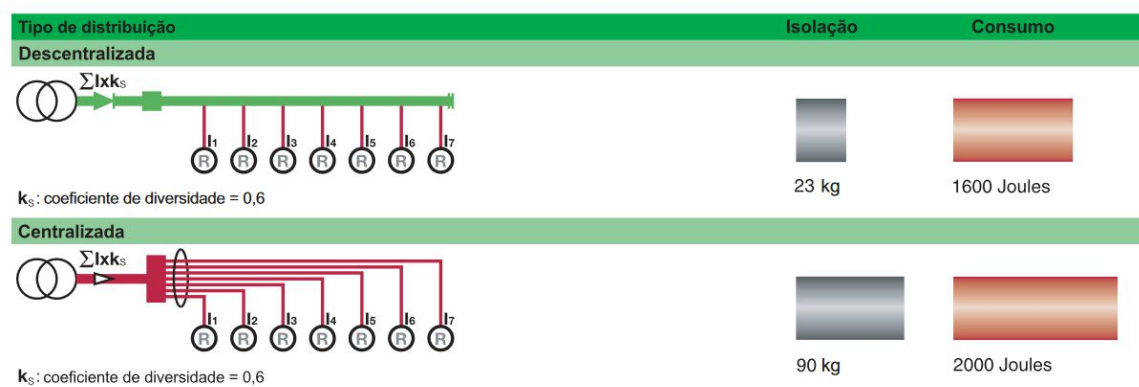


Figura 28 – Distribuição centralizada e não centralizada [3]

Uma grande desvantagem deste tipo de distribuição prende-se com o facto de os dispositivos de proteção estarem descentralizados e normalmente numa posição bastante elevada em relação ao solo. Isto significa que será necessário recorrer a uma plataforma elevatória para aceder ao dispositivo de proteção para cortar a alimentação da máquina, ou re-armar o dispositivo em caso de disparo.

### 2.7.8 Paralelo de condutores

Quando forem ligados em paralelo vários condutores da mesma fase ou polaridade, devem-se tomar medidas para que a corrente se reparta de igual forma entre eles. A corrente máxima admissível será a soma da corrente admissível individual de cada um, tendo em conta os efeitos de aquecimento mutuo, método de instalação, etc.

Para garantir que a corrente se reparte de igual forma entre os condutores, estes podem ser ligados em paralelo sempre que sejam da mesma secção, mesmo comprimento e do mesmo material, e que verifiquem uma das seguintes condições [1]:

- Os condutores em paralelo fazem parte do mesmo cabo multicondutor, ou se forem cabos unipolares agrupados em feixe;
- Os condutores e cabos unipolares não incluídos na condição anterior, de secção superior a  $50\text{mm}^2$  ou  $70\text{mm}^2$ , se a alma condutora for cobre ou alumínio respetivamente, forem colocados em triângulo ou em linha;

Deve-se tomar especial atenção à instalação dos mesmos, sendo sempre preferível que estes estejam paralelos um ao outro durante todo o percurso e deve-se evitar o entrançamento dos



mesmos assim como o “cruzamento” dos mesmos com outros cabos de potência de modo a evitar correntes induzidas.

### 2.7.9 Dimensionamento de instalações equipadas com grupo gerador

A maior parte das instalações elétricas industriais e também comerciais têm requisitos especiais no que toca a continuidade de serviço sendo que uma falha no fornecimento de energia pode trazer graves consequências. Alguns exemplos disso são os sistemas de segurança tais como iluminação de emergência, equipamento de proteção contra incêndios, sistemas de exaustão de fumos, alarmes, etc. Em alguns casos, um corte de energia pode significar a perda de produção ou mesmo a destruição dos próprios equipamentos. Uma das formas mais comuns de evitar a interrupção no fornecimento de energia às cargas prioritárias passa pela instalação de um grupo gerador, normalmente diesel, que irá alimentar um quadro elétrico que por sua vez distribui pelas cargas prioritárias. A ligação entre o grupo gerador e o quadro de distribuição é feita através de um sistema comutador-inversor que em situação normal irá ser alimentado pela rede de distribuição, contudo, detetando uma falha de energia, irá efetuar a comutação da alimentação para o grupo gerador.

Quando ocorre um curto circuito aos terminais de um gerador, este passa por três fases distintas que estão representadas na Figura 29.

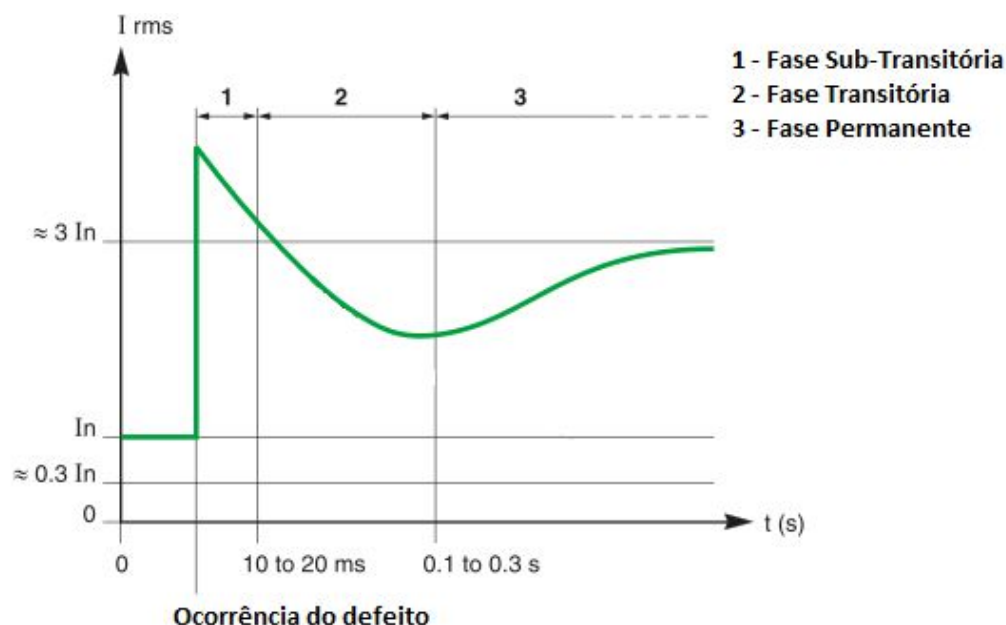


Figura 29 – Fases de um curto-circuito [6]

**Fase Sub-Transitória ( $x''d$ )**, quando um curto circuito é formado aos terminais de um gerador, a corrente atinge um pico relativamente elevado, atingindo um valor entre 6 a 12 vezes a corrente nominal. Este valor é definido por três parâmetros [6]:

- Reactância sub-transitória do gerador
- Nível de excitação do gerador até ao momento da ocorrência do defeito
- A impedância do circuito onde ocorreu o defeito

A impedância de curto circuito do gerador a ser considerada para efeitos de cálculo é a reactância sub-transitória expressa em percentagem geralmente fornecida pelo fabricante. Segundo a Norma IEC 60034-1 2004, o valor típico para geradores síncronos situa-se entre 10 a 15%.

**Fase transitória ( $x'd$ )**, ocorre entre 100 a 500ms após a origem do defeito. A corrente desce até 1,5 a 2 vezes a corrente nominal. Nesta fase a impedância de curto circuito a considerar situa-se entre 20 a 30%.

**Fase permanente ( $xd$ )**, ocorre 500ms após a origem do defeito. Quando o defeito persiste, a tensão de saída do gerador baixa e o regulador de tensão tenta aumentar o nível de tensão, o que leva a uma estabilização da corrente de curto circuito. Nesta fase podem-se considerar reactâncias superiores a 200%.

Geralmente os fabricantes fornecem os valores de impedância de forma a calcular a corrente de curto circuito no estado transitório ou permanente. A Tabela 8 apresenta alguns exemplos de reactâncias a considerar no cálculo do curto circuito de um gerador.

(kVA)	75	200	400	800	1600	2500
$x''d$	10.5	10.4	12.9	10.5	18.8	19.1
$x'd$	21	15.6	19.4	18	33.8	30.2
$xd$	280	291	358	280	404	292

Tabela 8 – Exemplo de reactâncias (%) a considerar no curto circuito de um gerador [3]

A corrente de curto circuito no estado transitório de um gerador é obtida:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{x'd(\%)} * 100$$

Este valor pode ser comparado com a corrente de curto circuito de um transformador. Para uma mesma potência nominal, as correntes de curto circuito serão 5 a 6 vezes inferiores às geradas por um transformador. A diferença é ainda mais acentuada quando a potência nominal do gerador é inferior à potencia nominal do transformador.

## 3 Trabalho prático desenvolvido

### 3.1 Aspetos gerais

Um dos objetivos do estágio consistia em efetuar o levantamento das instalações elétricas da unidade fabril e verificar a conformidade das mesmas com as Regras Técnicas de Instalações de Baixa Tensão (RTIEBT).

As instalações fabris da Continental – Industria Têxtil do Ave têm 68 anos de existência e ao longo deste período foram efetuadas diversas modificações nas suas instalações elétricas de média e baixa tensão. Devido ao redirecionamento da atividade produtiva da empresa, nas duas últimas décadas tem-se verificado alterações frequentes de layout produtivo e renovação do parque de máquinas, obrigando a adaptações relevantes sobretudo na rede de distribuição de baixa tensão.

A primeira premissa da execução e exploração das instalações é a garantia da segurança dos utilizadores seguida da segurança das instalações e equipamentos.

Visto que a rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão é do tipo TN sem diferenciais, é necessário garantir que a instalação é segura no caso de ocorrência de um contacto indireto. As condições que garantem esta proteção variam com o tipo e comprimento das cablagens, deste modo, sempre que é feita a realocação de uma máquina, é necessário determinar novamente as condições de segurança.

De forma a facilitar o trabalho de levantamento da instalação, tratamento de dados e análise das condições técnicas de dimensionamento foi desenvolvida uma ferramenta informática de apoio ao dimensionamento e proteção de canalizações elétricas, assim como da verificação das condições de proteção das pessoas nas instalações.

A ferramenta informática permite verificar a conformidade de canalizações elétricas existentes no que diz respeito aos parâmetros de dimensionamento assim como determinar de forma automática a canalização a escolher para uma determinada carga, sempre de acordo com as RTIEBT.

Durante o trabalho de levantamento foram encontradas várias não conformidades, tendo sido tomadas medidas corretivas sempre que possível e foram dadas propostas de resolução para os problemas mais complexos.

No decorrer do trabalho foram efetuadas várias consultas ao mercado para resolução de problemas, tendo sido feitas análises comparativas das propostas recebidas e em alguns casos adjudicação e acompanhamento das mesmas.

### **3.2 Desenvolvimento de ferramenta de dimensionamento de canalizações elétricas em instalações com Esquema de Ligação à Terra TN**

#### **3.2.1 Aspetos gerais**

A utilização de ferramentas de apoio ao projeto eletrotécnico é hoje uma prática corrente uma vez que permite tornar as tarefas mais simples e rápidas.

O dimensionamento de instalações elétricas passa por um grande número de cálculos e consulta de várias tabelas tornando-se bastante consumidor de tempo.

As ferramentas informáticas permitem ganhos significativos de tempo e recursos, além de que evitam possíveis erros humanos que podem ocorrer devido à extensão dos cálculos efetuados manualmente.

As ferramentas utilizadas passam geralmente pelo uso de folhas Excel ou através dos variados programas de dimensionamento disponibilizados por empresas fabricantes de material elétrico.

#### **3.2.2 Justificação e requisitos**

Uma ferramenta de apoio ao dimensionamento torna todo este trabalho mais rápido uma vez que se tratam de cálculos e consultas de tabelas muito repetitivas.

A unidade fabril da Continental, Indústria Têxtil do Ave, S.A. está em constante evolução com frequentes mudanças de layout e equipamentos produtivos pelo que a disposição e alimentação elétrica das máquinas varia com bastante frequência.

Em consequência disto, a garantia de proteção de canalizações, equipamentos e pessoas fica comprometida uma vez que a atuação dos dispositivos de proteção está dependente da corrente de curto circuito que terá que ser recalculada sempre que se alterar a alimentação.

Apesar de haver no mercado vários softwares muito completos, a sua utilização pode não ser a mais simples. A maior parte deles está focado no dimensionamento de redes novas não sendo tão intuitivos para o dimensionamento ou verificação da conformidade das soluções de instalações já existentes.

Por um lado, o Microsoft Excel é um programa que está ao alcance de todos, disponível em praticamente todos os computadores, hoje em dia até em tablets e smartphones, e é uma ferramenta muito transparente, sendo que facilmente se verificam as formulas por detrás dos cálculos efetuados enquanto que um software desenvolvido por um grande fabricante de material elétrico tem um funcionamento muito fechado, em que se introduz os dados e se obtém um resultado, sem grande perceção dos cálculos que estão a ser efetuados em *background*. Por outro lado, a base de dados de softwares de fabricantes de equipamentos apenas contempla os equipamentos do próprio fabricante, o que em instalações já existentes limita muito a aplicabilidade dos mesmos na análise das redes.

Justifica-se assim o uso do Excel por se encontrar disponível no pacote de softwares que equipam todos os computadores permitindo assim uma maior flexibilidade no seu uso. Permite também o desenvolvimento de aplicações que vão de encontro às necessidades específicas dos clientes.

A Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A, também tem uma política muito restritiva no que se refere à instalação de novas aplicações nos seus sistemas informáticos o que dificulta a utilização de softwares existentes, além de que apenas seria possível utilizar o software no computador em que o mesmo foi instalado, o que limita bastante a versatilidade do mesmo.

Assim, o pedido da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A, consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta Excel, transparente e simples de usar, com o principal objetivo da verificação da conformidade das suas atuais instalações elétricas, assim como o projeto de novas alimentações a quadros elétricos ou equipamentos, garantindo o cumprimento das RTIEBT no que se refere à proteção das canalizações elétricas e das pessoas contra contatos indiretos.

### 3.2.3 Arquitetura

A ferramenta foi desenvolvida de modo a simplificar e facilitar o seu uso, contudo, é necessário possuir conhecimentos de dimensionamento de instalações elétricas para a correta utilização da ferramenta.

O objetivo principal da ferramenta é permitir a verificação de uma alimentação elétrica evitando a consulta de inúmeras tabelas e efetuar dezenas de cálculos de forma repetitiva, pelo que é sempre necessário possuir conhecimentos sólidos na área da engenharia eletrotécnica, nomeadamente no dimensionamento de instalações elétricas e ter espírito crítico em relação às soluções apresentadas pela ferramenta.

De forma a permitir uma automatização do processo de dimensionamento tomou-se partido das funcionalidades do *Visual Basic for Applications* (VBA). Contudo, procurou-se tornar o processo de cálculo o mais transparente possível deixando todas as formulas de cálculo explícitas na própria tabela Excel.

O VBA foi utilizado para automatizar todas as tarefas de consulta de dados e tabelas, assim como fazer a interação entre o utilizador e a introdução de dados através do uso de *Userforms*.

O ficheiro Excel já possui uma folha para cada QGBT existente na unidade industrial e seus quadros parciais de modo a comprovar o correto dimensionamento da instalação elétrica atual da Continental. Na folha Excel, além do cabeçalho, podem ser vistos três botões. O primeiro passo para a construção de uma nova rede é a definição da sua origem, devendo para isso ser pressionado o botão “Origem” que irá abrir um *Userform* onde o utilizador pode introduzir os dados relativos à origem da instalação.

A Figura 30 demonstra o método de introdução de dados relativos à origem da instalação que se pretende dimensionar.

Figura 30 – Introdução de dados relativos à origem da instalação

Os dados introduzidos irão ser guardados na folha Excel. Ao pressionar o botão “Aceitar” surgirá um novo *Userform*, que é o meio principal de introdução de dados. Nele serão introduzidos todos os dados necessários relativos à alimentação elétrica que se pretende dimensionar. O mesmo *Userform* pode ser obtido pressionando o botão “Adicionar” presente na folha Excel ou através do botão “Alterar” se for pretendido alterar algum dado relativo a uma saída existente, como por exemplo, alterar a potência consumida ou alterar o comprimento e secção do cabo de alimentação.

A Figura 31 demonstra a principal janela de introdução de dados e interação com o utilizador.

Figura 31 – *Userform* principal onde são introduzidos todos os dados necessários ao dimensionamento da alimentação elétrica

De forma a um correto dimensionamento é necessária a introdução dos seguintes parâmetros:



- Origem da canalização
- Destino da canalização
- Descrição
- Comprimento
- Tipo de tensão
- Potência ou Corrente nominal da carga
- Distorção harmónica da corrente do circuito
- Corrente nominal do disjuntor
- Corrente de atuação magnética do disjuntor
- Opção para redução ou não do condutor de neutro
- Opção para forçar uma secção ou determinar automaticamente a mínima secção possível
- Material da alma condutora e do isolamento do cabo
- Tipo de cabo
- Método de instalação
- Tipo de instalação ou agrupamento
- Temperatura ambiente ou do solo
- Queda de tensão máxima permitida

Para facilitar na escolha do método de referencia, foi adicionado um *Userform* através do botão “Info” situado ao lado da lista de escolha do método de referência. Este abrirá um novo *Userform* que com recurso a imagens facilita a escolha do método de referência correto.

A Figura 32 demonstra o *Userform* que permite a escolha do método de referência com recurso a imagens.

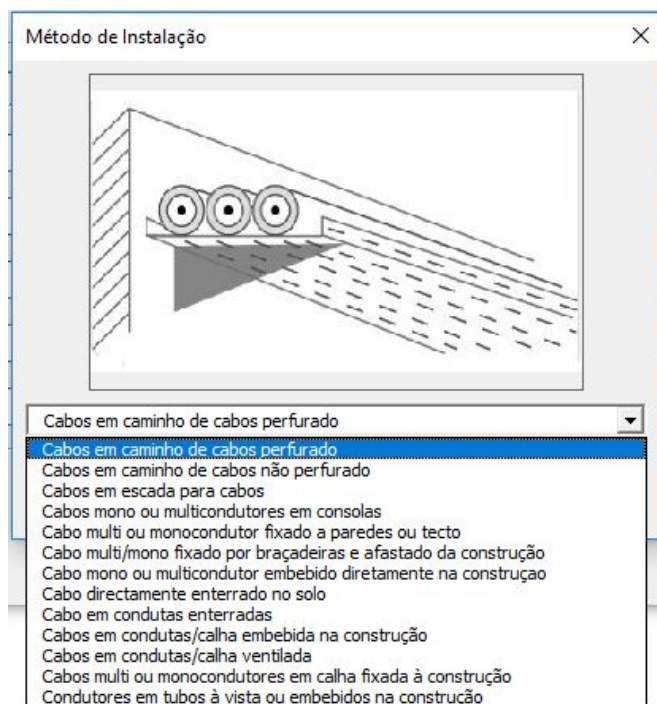


Figura 32 – Escolha do método de referência

Quando o *Userform* estiver devidamente preenchido, o utilizador deverá pressionar o botão “Confirmar”. Neste momento será corrido um *script* que irá colocar na folha Excel todos os dados introduzidos e efetuar os cálculos de dimensionamento fornecendo de volta a secção indicada para o cabo da nova alimentação elétrica.

Para o efeito foi criada uma base de dados em folhas ocultas do ficheiro Excel.

A primeira questão é em que linha da tabela Excel se irá adicionar a nova alimentação. Esta escolha é feita pelo seguinte critério:

- Se não existir mais nenhuma alimentação com a mesma origem, então coloca a nova saída por baixo da última linha preenchida da tabela
- Se já existir uma alimentação com a mesma saída, então coloca imediatamente abaixo dessa linha, de forma a agrupar as alimentações por origem

A Figura 33 mostra o extrato de código referente à determinação da linha da tabela Excel onde se irá adicionar a nova saída.

```

'Se a Origem for "TRF" coloca no final
    If origem = "TRF" Then
r = ActiveSheet.Range("j" & Rows.Count).End(xlUp).Offset(1).Row

        Else
'Senão seleciona a coluna da origem desde a linha 13 até à ultima linha preenchida
r = ActiveSheet.Range("j" & Rows.Count).End(xlUp).Offset(1).Row
Range("h13:h" & r).Select

'procura nessa coluna se já existe algum circuito com a mesma origem
    If Selection.Find(origem, lookin:=xlValues) Is Nothing Then
'Se não encontrar, então coloca no final
Range("h" & r).EntireRow.Select
Selection.EntireRow.Insert , CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
        Else
'Se encontrar, então insere uma nova linha a seguir à encontrada
Selection.Find(origem, lookin:=xlValues, searchdirection:=xlPrevious, SearchOrder:=xlByRows).Select
Selection.Offset(rowoffset:=1).Select
r = Selection.Row
Selection.EntireRow.Insert , CopyOrigin:=xlFormatFromLeftOrAbove
        End If

' isto é para impedir de colar alguma coisa na linha 13 porque ela faz parte do cabeçalho
'ou seja, se r=13 passa para r=14
If r = 13 Then
r = r + 1
Selection.Offset(rowoffset:=1).Select
r = Selection.Row
End If

    End If

```

Figura 33 – Extrato de código para determinar em que linha se adicionará a nova saída

Após o número da linha onde se vai adicionar a nova alimentação estar decidido, é copiada para a tabela uma linha completa com todas as formulas necessárias ao dimensionamento previamente inseridas que está guardada numa folha Excel oculta.

Posteriormente todos os dados introduzidos pelo utilizador no *Userform* são copiados para a nova linha da tabela tal como está representado na Figura 34.

```

'copiar linha genérica com formulas da folha auxiliar
Sheet20.Range("A46:Bw46").Copy

'cola na linha "r" já definida em cima
Worksheets(folha).Activate
Range("a" & r).PasteSpecial

'colocar dados na tabela excel
Range("ap" & r).Value = ifunc
Range("h" & r).Value = lista_saidas.Text
Range("i" & r).Value = destino.Text
Range("j" & r).Value = potencia.Value
Range("k" & r).Value = comprimento.Value
Range("w" & r).Value = metodo.Value
Range("bi" & r).Value = (deltaU.Value) / 100
Range("bg" & r).Value = elt.Value
Range("q" & r).Value = curva.Text
Range("ah" & r).Value = material.Value
Range("w" & r).Value = metodo.Value
Range("u" & r).Value = tipocabo.Value
Range("n" & r).Value = tensao.Value
Range("p" & r).Value = inom.Value
Range("x" & r).Value = thdi45.Value
Range("f" & r).Value = descricao.Text
Range("bv" & r).Value = temp.Value

```

Figura 34 – Extrato de código que demonstra a colocação dos dados na tabela Excel

Neste momento, com todos os dados introduzidos na tabela, falta determinar qual a secção indicada para a alimentação pretendida que cumpra com todas as condições necessárias.

No *Userform* existem duas hipóteses:

- O utilizador introduz os dados e a ferramenta irá verificar qual a secção mínima que satisfaz as condições de dimensionamento;
- O utilizador introduz uma determinada secção e a ferramenta irá indicar se a secção que o utilizador introduziu cumpre as condições de dimensionamento;

Na prática, para ambas as hipóteses é necessário determinar qual a tabela das RTIEBT correspondente para a verificação das correntes admissíveis em condutores. Conforme os dados introduzidos, já na tabela Excel, através de uma função *If* é determinada qual a tabela das RTIEBT indicada tendo em conta o tipo de material da alma condutora, tipo de isolamento do cabo e método de referência em que o cabo será instalado.

De forma a facilitar a obtenção dos dados, as tabelas com as correntes admissíveis foram formatadas de modo a facilitar a pesquisa dos dados, como demonstra a Figura 35.

TIPO	MULTI	MULTI	MONO	MONO	MONO	MONO	MONO	52-C11 COBRE XLPE	
COND	DOIS	TRES	DOIS	TRES	TRES	TRES	TRES		
INST				TRI	EST	AH	AV		
METODO	E	E	F	F	F	G	G	Nº COND	Seccção
SECCAO	2	3	4	5	6	7	8		
1,5	26	23	0	0	0	0	0	1	1,5
2,5	36	32	0	0	0	0	0	1	2,5
4	49	42	0	0	0	0	0	1	4
6	63	54	0	0	0	0	0	1	6
10	86	75	0	0	0	0	0	1	10
16	115	100	0	0	0	0	0	1	16
25	149	127	161	135	141	182	161	1	25
35	185	158	200	169	176	226	201	1	35
50	225	192	242	207	216	275	246	1	50
70	289	246	310	268	279	353	318	1	70
95	352	298	377	328	342	430	389	1	95
120	410	346	437	383	400	500	454	1	120
150	473	399	504	444	464	577	527	1	150
185	542	456	575	510	533	661	605	1	185
240	641	538	679	607	634	781	719	1	240

Figura 35 – Exemplo de tabela em base de dados com correntes admissíveis segundo as RTIEBT

Se o quadro das RTIEBT para a alimentação em causa for entre o 52-C9 e o 52-C12, como o da figura, então é necessário determinar em qual das colunas se deve ir copiar o valor. Essa determinação é feita em função do tipo de tensão, se monofásica ou trifásica, do tipo de cabo, se multipolar ou unipolar e do método de instalação.

Neste caso existem quatro opções, “EST” que significa que os cabos estão instalados em esteira horizontal, “TRI” que significa que os cabos estão instalados em formação trevo ou triangulo, “EH” e “EV” que significam que os cabos estão instalados com espaçamento horizontal e vertical respetivamente. Após a verificação é guardada uma variável “L” que indica o número da coluna correspondente na tabela das correntes admissíveis.

A Figura 36 mostra o estrato de código referente à determinação da variável “L” referida.

```

If quadro = "52-C9" Or quadro = "52-C10" Or quadro = "52-C11" Or quadro = "52-C12" Then
    If tensao = "Trifásica" And cabo = "Multipolar" Then
        L = 3
    ElseIf tensao = "Monofásica" And cabo = "Unipolar" Then
        L = 4
    ElseIf tensao = "Monofásica" And cabo = "Multipolar" Then
        L = 2
    ElseIf tensao = "Trifásica" And cabo = "Unipolar" And est_tri = "EST" Then
        L = 6
    ElseIf tensao = "Trifásica" And cabo = "Unipolar" And est_tri = "TRI" Then
        L = 5
    ElseIf tensao = "Trifásica" And cabo = "Unipolar" And est_tri = "EH" Then
        L = 7
    ElseIf tensao = "Trifásica" And cabo = "Unipolar" And est_tri = "EV" Then
        L = 8
    End If

```

Figura 36 – Extrato de código referente à determinação da variável “L”

Estas condições foram transcritas diretamente para a tabela Excel através das funções *If*, *And* e *Or* do próprio Excel. A vantagem com isto é a atualização instantânea assim que se altera algum valor na tabela evitando a necessidade de correr novamente o script.

Após a determinação do Quadro das RTIEBT correspondente e de qual a coluna correta, conforme as condições indicadas anteriormente, é feita a verificação da corrente admissível.

Caso o utilizador escolha a opção para determinar automaticamente uma solução, então é procurada a secção que possua uma corrente admissível imediatamente acima da corrente nominal definida para o dispositivo de proteção.

Para isso é corrido o script “Verificar Iz”. Este *script* está dividido em dois pelo facto de as tabelas com as correntes admissíveis possuírem formatações e ranges diferentes.

O *script* “Verificar Iz” determina na tabela de correntes admissíveis correspondente, através das variáveis referidas anteriormente, qual o cabo que possui uma corrente admissível imediatamente acima da corrente nominal do disjuntor escolhido.

Após determinar qual a secção, esta é colocada na tabela Excel.

A Figura 37 mostra o extrato de código para determinação da secção mínima com corrente admissível superior à corrente nominal do dispositivo de proteção

```

If quadro = "52-C9" Or quadro = "52-C10" Or quadro = "52-C11" Or quadro = "52-C12" Then

'Range("z" & r).Value = L
L = Range("s" & r).Value
'vai a folha correspondente ao quadro das RTIEBT
Worksheets(quadro).Activate

For Each C In Range(Cells(6, L), Cells(119, L)).Cells

    If C.Value > inom Then
        'primeiro valor de iz superior ao Inominal
        firstvalue = C.Value
        'guarda a linha correspondente para depois ir buscar a secção
        a = C.Row
        Exit For
    End If
Next

'vai a linha de onde retirou o Iz e vai a coluna A para saber a secção correspondente
D = Range("j" & a).Value
b = Range("I" & a).Value

' coloca a secção na tabela
Worksheets(folha).Range("bo" & r).Value = D
'coloca o n° de cabos na tabela
Worksheets(folha).Range("ad" & r).Value = b
Worksheets(folha).Activate

```

Figura 37 – Extrato de código para determinação da secção mínima com corrente admissível superior à corrente nominal do dispositivo de proteção

Para os restantes quadros apenas muda o range utilizado para a pesquisa devido à diferente formatação das tabelas que o constituem.

A Figura 38 mostra o extrato de código referente à determinação da corrente nominal mínima para os restantes quadros das RTIEBT.

```

For Each C In Range(Cells(4, L), Cells(67, L)).Cells
'For Each C In Range("e6:e24").Cells

    If C.Value > inom Then
        'primeiro valor de iz superior ao Inominal
        firstvalue = C.Value
        'guarda a linha correspondente para depois ir buscar a secção
        a = C.Row
        Exit For
    End If
Next

```

Figura 38 – Diferente range para restantes quadros de correntes admissíveis

Após colocado o valor de secção na tabela Excel o valor da corrente admissível é obtido através de uma formula diretamente na célula da tabela. No seguinte exemplo, é utilizada a função *VLOOKUP* em conjunto com a função *INDIRECT*:

```
=VLOOKUP(B016;INDIRECT("'"&AC16&"!a4:h20");Z16;TRUE)
```

- *B016* – Secção do cabo do qual pretendemos saber a corrente admissível
- *AC16* – Nome da folha a procurar (quadro das RTIEBT correspondente)
- *Z16* – Variável “*L*” definida anteriormente que indica a coluna do quadro

Ao utilizar uma formula diretamente na folha Excel permite maior flexibilidade caso seja necessário trocar a secção da alimentação em questão, evitando a necessidade de correr um novo *script* para determinar a corrente admissível da nova secção.

Existe um certo número de condições a cumprir, como valores máximos de a quedas de tensão, a garantia de que a corrente de curto circuito mínima é suficiente para atuar a proteção na sua parte de atuação magnética e a verificação das condições básicas de dimensionamento, como por exemplo  $I_b < I_n < I_z$ .

Enquanto estas condições não forem verdadeiras, a secção vai aumentando passo a passo até que as condições sejam cumpridas.

A Figura 39 mostra o extrato de código que faz correr o *script* “Aumentar\_Seccao” enquanto as condições de dimensionamento não estiverem a ser cumpridas.

```
'enquanto as condições nao cumprirem todas
'aumenta a secção até todas as condições serem verdadeiras
While Range("bn" & r).Value <> 1
Worksheets(folha).Activate
Application.Run "aumentar_seccao"

'espera que as celulas da folha excel actualize as formulas/valores
Application.Calculate
If Not Application.CalculationState = xlDone Then
DoEvents
End If

Wend
```

Figura 39 – Extrato de código para aumentar secção enquanto não forem cumpridas as condições de dimensionamento



O *script* “aumentar\_seccao” é muito semelhante ao anterior “Verificar\_Iz” contudo, em vez de retornar o valor de corrente admissível imediatamente superior ao valor de corrente nominal do dispositivo de proteção, este retorna o valor de secção imediatamente superior ao existente atualmente na tabela Excel.

A Figura 40 mostra um excerto do *script* “aumentar\_seccao”.

```
For Each C In Range(Cells(6, 1), Cells(lastrow, 1)).Cells
    If C.Value > sf Then
        firstvalue = C.Value
        a = C.Row
    Exit For
End If
Next
```

Figura 40 – Extrato de código do *script* “aumentar\_seccao”.

Quando todas as condições forem cumpridas, é corrido um último *script* com o simples objetivo de alterar a formatação da tabela, de forma a tornar as novas saídas mais agradáveis e fáceis de identificar.

As saídas são agrupadas por origem de modo a facilitar a visualização por quadro de distribuição como pode ser verificado no seguinte excerto da tabela de dimensionamento do QGBT 5, representado na Figura 41.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transformador	QGBT 5	2000	20	2886,75	2000	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	2112,4	0,92%	16813	26106	66,672	OK	NOK
QGBT 5	Q. Zell	200	60	288,68	1800	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	1816,6	1,19%	12879	23535	113,623	OK	Ok
QGBT 5	Q8	700	30	1010,36	1250	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	1,50%	14295	23853	30,824	OK	NOK
QGBT 5	QP1	346	10	499,41	630	5	XV 3(2x185) + 1(2x185)	Unipolar	TRI	F	1020	798,3	1,03%	15452	24929	11,725	OK	Ok
Q8	Oerlikon C	170	70	245,37	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,09%	6979	14869	14,368	OK	Ok
Q8	ICBT 17	150	90	216,51	400	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,60%	3944	9492	11,864	OK	NOK
Q8	ICBT 12	150	100	216,51	400	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,72%	3650	8897	13,850	OK	NOK
Q8	ICBT 16	150	125	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,43%	4978	11473	28,246	OK	Ok
Q8	ICBT 11	150	135	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,51%	4731	11016	31,269	OK	Ok

Figura 41 – Excerto da tabela de dimensionamento do QGBT 5

O *script* representado na Figura 42 procura na coluna correspondente à “Origem” de forma a seleccionar todas as saídas com a mesma origem e aplicar uma formatação específica.

```

Dim Rng As Range, xCell As Range
Dim xRows As Integer

r = ActiveSheet.Range("j" & Rows.Count).End(xlUp).Offset(1).Row
Set workRng = Range("h14:h" & r)

xRows = workRng.Rows.Count
For Each Rng In workRng.Columns
    For i = 1 To xRows - 1
        For j = i + 1 To xRows
            If Rng.Cells(i, 1).Value <> Rng.Cells(j, 1).Value Then
                Exit For
            End If
        Next
        workRng.Parent.Range(Rng.Cells(i, 1), Rng.Cells(j - 1, 1)).Select

        Selection.EntireRow.Select
    
```

Figura 42 – Excerto de código para formatação da tabela final

A utilização do VBA limitou-se ao indicado até aqui, todas as restantes operações e métodos de cálculo estão inseridos diretamente na folha Excel em formato de fórmula. Por exemplo, para a obtenção do valor de depreciação a aplicar conforme a temperatura ambiente, ou do solo, são usadas as funções:

- **If** - para determinar o tipo de material que constitui o cabo e definir qual a coluna da tabela a ser consultada
- **VLOOKUP** – para obter o valor de correção a retirar, conforme o valor de temperatura ambiente introduzido pelo utilizador.

A Figura 43 demonstra a fórmula utilizada para a determinação do fator de depreciação a aplicar para correção da temperatura ambiente ou do solo.

```

=IF(AND(OR(AH16="Cobre/XLPE";AH16="Aluminio/XLPE");W16<>"D");VLOOKUP(BV16;Listas!$H$2:$L$16;3;TRUE);IF(AND(OR(AH16="Cobre/PVC";AH16="Aluminio/PVC");W16<>"D");VLOOKUP(BV16;Listas!$H$2:$L$16;2;TRUE);IF(AND(OR(AH16="Cobre/XLPE";AH16="Aluminio/XLPE");W16="D");VLOOKUP(BV16;Listas!$H$2:$L$16;5;TRUE);IF(AND(OR(AH16="Cobre/PVC";AH16="Aluminio/PVC");W16="D");VLOOKUP(BV16;Listas!$H$2:$L$16;4;TRUE);))))

```

Figura 43 – Formula Excel para determinação do fator de depreciação por temperatura

Em folhas anexas do ficheiro Excel estão as tabelas de correntes admissíveis das RTIEBT assim como tabelas com fatores de depreciação a aplicar, como demonstra a Figura 44. O mesmo método é utilizado para determinar outros fatores de correção, tais como os fatores de correção para agrupamento de cabos e condutores.

TEMP (°C)	PVC	XLPE	PVC	XLPE
10	1,22	1,15	1,1	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	1	1
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	1	1	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,8
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,5	0,71	0,45	0,65
65		0,65		0,6
70		0,58		0,53
75		0,5		0,46
80		0,41		0,38
	Temp ambiente		Temp do solo	

Figura 44 – Fatores de correção a aplicar em função da temperatura ambiente ou temperatura do solo para condutores enterrados segundo as RTIEBT

A definição da “Origem” e “Destino” das canalizações é muito importante, não só por questões de organização das saídas e formatação como já foi referido, mas também para obtenção de dados o mais aproximado possíveis da realidade. A determinação da impedância dos circuitos é determinada utilizando as funções *Index* e *Match* de forma a somar todas as impedâncias desde a origem até ao recetor final tal como demonstrado na Figura 45.

=IF(ISNA(INDEX(AX:AX;MATCH(H14;I:I;0);1));0;INDEX(AX:AX;MATCH(H14;I:I;0);1))

Figura 45 – Fórmula Excel para determinar valor de resistência dos circuitos a montante

A função *If* em conjunto com a função *ISNA* é usada para determinar se existe algum valor de impedância a montante. Se não existir, então o valor é colocado a zero.

Através da função *Index* e *Match*, verifica-se se já existe algum “Destino” igual à “Origem” da saída atual. Se já existir significa que existe rede a montante e para isso é necessário adicionar o valor da sua resistência ao valor da resistência da saída que se está a dimensionar. O valor da resistência a montante é então colocado na linha da saída que se está a dimensionar obtendo assim os valores de resistência do troço que estamos a dimensionar, como a resistência total desde a fonte até ao recetor final de forma a calcular com precisão os valores de corrente de curto circuito e malha de defeito, assim como a queda de tensão.

Este processo está exemplificado na Figura 46.

Origem	Destino	R fase(Ω) montante	R neutro(Ω) montante	R Fase (Ω) cabo	R neutro (Ω) cabo	R fase (Ω) total	R neutro (Ω) tota
Transformador	QGBT 2	0	0	0,000248	0,000496	0,000248	0,000496
QGBT 2	QDF 2.01	0,000248	0,000496	0,001931	0,001931	0,002179	0,002465
QGBT 2	QDF 2.02	0,000248	0,000496	0,002896	0,002896	0,003144	0,003391
QGBT 2	QDF 2.03	0,000248	0,000496	0,004022	0,004022	0,004270	0,004518
QDF 2.01	JingWei 6	0,002179	0,0024265	0,008482	0,008482	0,010661	0,010908
QDF 2.01	JingWei 7	0,002179	0,0024265	0,004826	0,004826	0,007005	0,007252
QDF 2.01	JingWei 8	0,002179	0,0024265	0,004841	0,004041	0,006222	0,006469
QDF 2.01	SaurerAllma 1	0,002179	0,0024265	0,018367	0,040179	0,020546	0,042625
QDF 2.01	SaurerAllma 5	0,002179	0,0024265	0,008571	0,017143	0,010750	0,019503
QDF 2.01	Q.Vent Salão	0,002179	0,0024265	0,007653	0,016741	0,009832	0,019114
QDF 2.02	ICBT 14	0,003144	0,0033918	0,002738	0,002738	0,005882	0,006129
QDF 2.02	RITM 18	0,003144	0,0033918	0,001931	0,001931	0,005074	0,005321
QDF 2.02	Oerlikon CC3	0,003144	0,0033918	0,003861	0,003861	0,007005	0,007252
QDF 2.02	JingWei 9	0,003144	0,0033918	0,003861	0,003861	0,007005	0,007252

Figura 46 – Verificação da resistência a montante

A corrente de curto circuito mínima é calculada utilizando o valor de tensão simples e é limitada pela soma da impedância desde a origem até ao ponto mais distante protegido pela proteção que se está a dimensionar mais a impedância de volta do condutor PE ou Neutro. É sempre calculada para o caso mais desfavorável.

Para o cálculo da corrente de curto circuito máxima, é utilizada a tensão composta e prevê-se o caso que possa gerar a maior corrente de curto circuito, de modo a determinar qual o poder de corte que o dispositivo de proteção terá que ter. Para isso, introduz-se no cálculo a impedância desde a fonte até à saída da proteção que estamos a dimensionar.

Para este cálculo, a subestação que alimenta a unidade fabril também pode ter alguma influência. Para o efeito foi incluído na ferramenta a possibilidade de considerar a influencia da subestação nas correntes de curto circuito. Para o efeito, a impedância determinada é adicionada à impedância do transformador MT/BT, sendo necessário saber a potência de curto circuito da rede de MT.

A Figura 47 demonstra os dados utilizados para a determinação da impedância da rede de média tensão a montante do transformador.

Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	420
Potência (kVA)	1600
Ucc (%)	6
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0098453

Figura 47 – Dados para determinação da impedância da rede de média tensão

### 3.2.4 Verificação e validação do software desenvolvido

Para verificação e validação dos resultados obtidos com a ferramenta desenvolvida foi efetuada uma comparação de resultados utilizando para o efeito alguns *Softwares* de dimensionamento existentes no mercado.

Os softwares de dimensionamento utilizados para a comparação foram o *Simaris Design* da *Siemens* e o *Ecodial* da *Schneider*.

São softwares de dimensionamento disponibilizados pelas respetivas empresas que são grandes fabricantes de material elétrico. Cada um dos softwares baseia-se muito na utilização de equipamentos da sua própria marca e focam-se no dimensionamento de instalações novas.

Os intuitos destes softwares passam principalmente pelo auxílio o dimensionamento de redes novas, dificultando um pouco a tarefa de verificação de instalações já existentes.

Na análise destes softwares, a grande dificuldade prende-se com o facto de ser muito difícil a introdução de um valor de corrente nominal específico para o disjuntor. Ou seja, dependendo da potência nominal da carga, este tipo de software sugere um determinado disjuntor com uma determinada corrente nominal, e a partir desse valor determina a secção que se deve usar, o que pode não coincidir com a instalação que se quer comprovar o dimensionamento. Por exemplo, um disjuntor de corrente nominal de 400A pode estar regulado para uma corrente nominal de 350A, 330A ou qualquer outro valor, que com este tipo de softwares é muito difícil introduzir, principalmente porque para introdução manual forçamos a escolher a partir dos seus próprios catálogos. Isto torna-se problemático para instalações com equipamentos de diversos fabricantes e consumidor de tempo o que contradiz o propósito da utilização de um software para dimensionamento.

Para a verificação e validação do software desenvolvido foi efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos entre os vários softwares.

De forma a efetuar a análise comparativa direta foram introduzidos em cada software os mesmos dados:

- Rede MT com Scc de 60MVA;
- Transformador de 1600kVA, 15kV/0.42kV, 6% Ucc;
- Alimentação do QGBT: XV 3x(5x240)+1x(5x240); L=20m; (Cobre e XLPE);
- Saída do QGBT: XV 3x(3x185)+1x(3x185); L=60m; (Cobre e XLPE);
- Saída do Quadro Parcial: XV 1x(3x185)+(1x185); L=57m; (Cobre e XLPE);
- Carga 100kVA.

O ponto principal na determinação da segurança e proteção das instalações e dos seus utilizadores passa pela determinação das correntes de curto circuito mínimas e máximas.

Os resultados obtidos com os diferentes softwares para determinação das correntes de curto circuito estão representados na Tabela 9.

	Excel	Ecodial	Simaris
<b>Icc Máx – QGBT</b>	26,1	26,5	27,1
<b>Icc Min - QGBT</b>	17,4	21,9	19,3
<b>Icc Máx – Quadro Parcial</b>	21,2	21,7	21,2
<b>Icc Min – Quadro Parcial</b>	12,1	14,6	15,7
<b>Icc Máx – Carga</b>	13,6	13,8	13,6
<b>Icc Min – Carga</b>	6,3	7,02	7,5

Tabela 9 – Comparação de resultados das correntes de curto circuito (kA) em vários pontos da rede

Analisando os valores obtidos entre os resultados obtidos através dos 3 softwares verifica-se que, apesar de alguma variação, os valores obtidos são bastante consistentes entre as três plataformas de cálculo o que comprova o correto funcionamento da ferramenta desenvolvida.

A variação obtida é residual e expectável devido a aproximações que as ferramentas de cálculo possam ter tomado, como por exemplo, a determinação precisa da reactância dos cabos ou a utilização de fatores de correção para a sua aproximação.

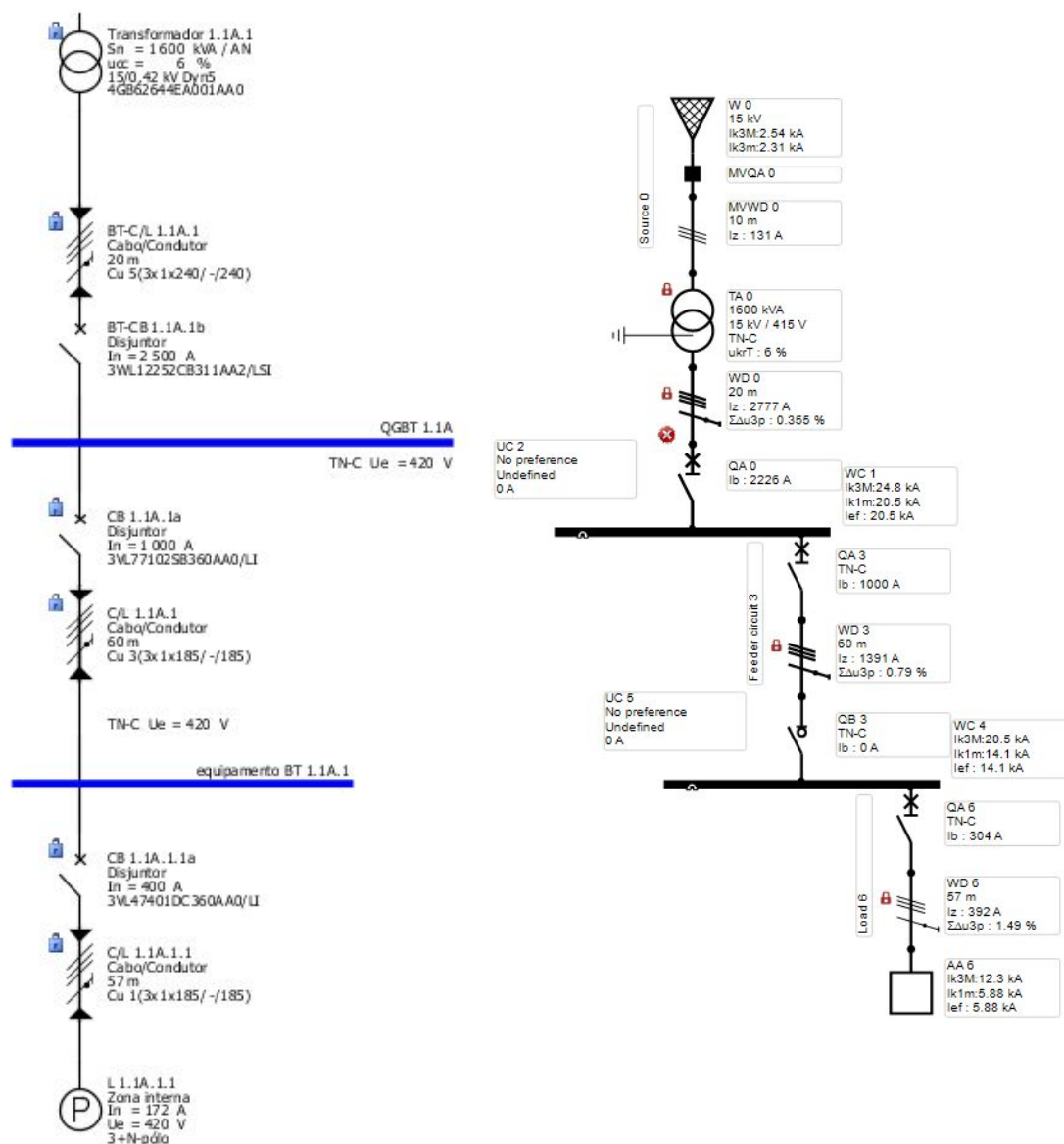
De modo geral, a ferramenta Excel desenvolvida está muito consistente com os restantes softwares no que diz respeito às correntes de curto circuito máximas trifásicas, o que garante que existirá uma correta determinação do poder de corte dos equipamentos. Deste modo garante-se a segurança e eficácia dos dispositivos de corte.

As correntes de curto circuito mínimas obtidas através da ferramenta são de forma geral menores o que trás uma maior segurança na determinação da corrente de atuação magnética das proteções existindo uma maior garantia de atuação em caso de defeito.

Visto que a ferramenta desenvolvida apresenta valores consistentes com os softwares existentes, além do facto que os valores de curto circuito mínimo, correspondentes ao curto circuito monofásico no ponto mais afastado do dispositivo de proteção, são mais conservadores, significa que a segurança dos utilizadores está salvaguardada no caso de contacto indireto.

A Figura 48 mostra a representação gráfica da rede simulada nos softwares analisados e na ferramenta desenvolvida. Como se pode verificar, os softwares estão muito baseados em representação esquemática que em redes extensas tornam-se pouco práticos devido ao tamanho dos esquemas. A organização em tabela, como na ferramenta desenvolvida, além da verificação da conformidade da instalação, permite uma melhor organização dos dados facilitando assim o processo de levantamento da instalação.

Em anexo são apresentadas as tabelas de dimensionamento, obtidas através da ferramenta desenvolvida, relativas a todo o trabalho de levantamento da instalação elétrica da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A que será apresentada na secção 3.3 do presente relatório.



Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	In (A)	Imag (xIN)	Cabo	Tipo cabo	Material	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc mín > Im	Cond Ib<In<Iz
Transformador	QGBT	1300	20	1876,39	2200	5	XV 3(5x240) + 1(5x240)	Unipolar	Cobre/XLPE	3035	2640,45	0,56%	17403,3	26106,2	97,223	OK	Ok
QGBT	Q.Parcial	624	60	900,67	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	Cobre/XLPE	1530	1144,75	1,60%	12106,4	21281,1	42,976	OK	Ok
Q.Parcial	Carga	100	60	144,34	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	Cobre/XLPE	510	429,828	1,90%	6328,17	13690,2	17,477	OK	Ok

Figura 48 – Resultados obtidos nas três ferramentas (*Ecodial* à esquerda, *Simaris* à direita e Excel em baixo)



### **3.3 Levantamento das instalações elétricas, identificação de não conformidades e propostas de resolução**

#### **3.3.1 Aspetos Gerais**

O levantamento da instalação elétrica é o primeiro passo na verificação da conformidade da mesma. Um total conhecimento da instalação elétrica existente e suas características é imperativo para uma correta análise do seu verdadeiro estado de conformidade, ou não, com as normas e regras às quais deve obedecer.

A existência de esquemas elétricos, plantas, esquemas de distribuição de quadros pode ser uma ajuda, contudo, numa indústria como a Continental – ITA, que está em constante expansão e evolução, muitas vezes as alterações efetuadas à instalação não são devidamente documentadas e a maior parte dos esquemas existentes não estão atualizados o que leva a não existir grande correspondência entre os esquemas existentes e a instalação propriamente dita.

No âmbito deste trabalho foi efetuado o levantamento da instalação elétrica desde o seu ponto de ligação com a rede pública até aos quadros parciais e consumidores finais não protegidos com dispositivos diferenciais.

Por um lado, devido ao facto da instalação elétrica ser de elevada extensão e complexidade e, por outro lado, devido à sua laboração contínua, a tarefa de levantamento foi de extrema responsabilidade, bastante complexa e consumidora de tempo.

Durante o levantamento da instalação elétrica foram-se enfrentando várias dificuldades. A maior parte dos quadros elétricos não possui esquemas elétricos, e os que possuem esquemas, os mesmo já não estão atualizados, fruto das constantes alterações ao layout produtivo. Acresce ainda o facto de que uma grande parte dos quadros elétricos possuir identificações erradas nas suas saídas, ou em alguns casos, disjuntores e outros equipamentos sem identificação.

Conforme já referido, a Continental – ITA tem um funcionamento contínuo, 24 horas por dia e 7 dias por semana, sendo os dias de paragem muito limitados ao longo do ano. Por este motivo o trabalho de levantamento fica exponencialmente dificultado uma vez que se torna impossível desligar disjuntores para identificar as cargas que os mesmos alimentam. Muitas

vezes, para se contornar e minimizar este problema, tornou-se necessário recorrer a técnicos de manutenção, que devido aos anos de casa têm algum conhecimento das alterações que foram feitas. Mesmo assim, em muitas situações é necessário efetuar um exercício de exclusão de partes ou efetuar medições de corrente de modo a determinar se o circuito corresponde à carga que se pensa que alimenta.

### **3.3.2 Distribuição de energia em Média Tensão**

#### **3.3.2.1 Ligação à rede pública**

Por motivos de ordem técnica e/ou económica as grandes instalações elétricas industriais, são alimentadas pela rede pública a um nível de tensão superior àquele a que os circuitos finais são alimentados.

A unidade industrial da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A, é alimentada em Alta Tensão através de uma única linha aérea de 60 kV possuindo uma subestação própria. Sendo este o início da instalação elétrica, será um bom ponto de partida para o levantamento da instalação elétrica.

A subestação tem uma potência instalada de 5MVA, encontrando-se equipada com um transformador que com o sistema de ventilação forçada, pode funcionar de forma contínua até 6MVA.

A subestação encontra-se equipada apenas com uma linha de saída a 15 kV, que alimenta a rede de postos de transformação existentes na unidade industrial.

A Figura 49 mostra uma vista geral da subestação da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.



Figura 49 – Vista geral da subestação da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A

A instalação possui assim um contrato de fornecimento de energia elétrica em alta tensão, sendo a respetiva contagem de energia realizada na subestação.

A Figura 50 mostra o contador de energia existente na subestação.



Figura 50- Contador de energia da subestação da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A

### 3.3.2.2 Rede de Média Tensão

A distribuição em Média Tensão (15 kV) é realizada com recurso a 4 postos de transformação distribuídos pela unidade fabril totalizando 6 transformadores MT/BT (15 kV / 0,4 kV) a funcionar em simultâneo mais 1 transformador de reserva no PT1.

Na Tabela 10 indicam-se os postos de transformação existentes na instalação, assim com as suas principais características.

	Alimenta	Fabricante	Potência (kVA)	Tensão (kV)	Ucc (%)	Tipo
<b>Subestação</b>	Rede MT	EFACEC	6000 kVA	60/15	8	Óleo
<b>PT1</b>	QGBT 1	Siemens	1600 kVA	15/0,40	4	Óleo
	QGBT 2	EFACEC	1600 kVA	15/0,42	6	Seco
	Reserva	EFACEC	1250 kVA	15/0,42	6	Óleo
<b>PT 2</b>	QGBT 3	France Transfo	1600 kVA	15/0,42	6	Seco
	QGBT 4	France Transfo	1600 kVA	15/0,42	6	Seco
<b>PT 3</b>	QGBT 5	EFACEC	2000 kVA	15/0,42	4,3	Óleo
<b>PT 4</b>	QGBT 6	France Transfo	1600 kVA	15/0,42	6	Seco

Tabela 10 – Postos de transformação e principais características existentes na indústria Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A

A Figura 51 mostra o desenho da rede de distribuição em média tensão da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A..

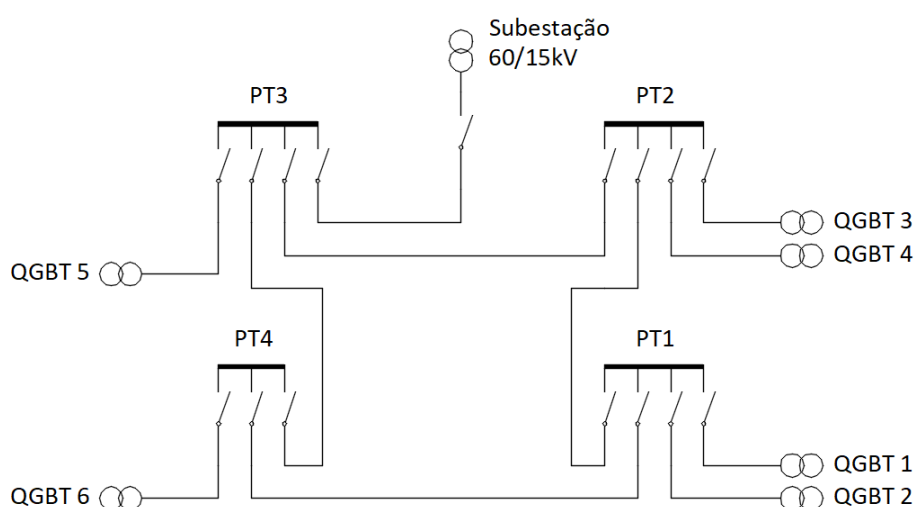


Figura 51 – Desenho da rede de distribuição em média tensão da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.

Embora a alimentação a partir da subestação seja em antena, existe um anel criado dentro da fábrica que interliga os quatro postos de transformação. Existe assim uma maior flexibilidade na gestão do fornecimento de energia aos vários pontos de alimentação, principalmente durante as ações de manutenção.

Além do transformador, que é a parte fulcral do Posto de Transformação (PT), existem vários equipamentos que garantem o bom funcionamento do mesmo, nomeadamente, a seguinte aparelhagem de corte, seccionamento, proteção e contagem:

- Interruptor;
- Seccionador;
- Disjuntor e/ou Fusíveis;
- Contador de energia, quando aplicado.

Para além dos referidos equipamentos, é também parte integrante de um posto de transformação o Quadro Geral de Baixa Tensão, a partir do qual é realizada a distribuição de energia para os quadros da instalação.

#### **3.3.2.3 Posto de transformação 1**

O posto de transformação 1 é composto por celas em alvenaria para o equipamento de média tensão e para cada um dos três transformadores que o equipam.

Possui a cela de entrada em MT da EDP, onde era feita a alimentação da rede pública antes de existir a subestação pelo que está agora desativada; duas celas para interligação com o PT2 e PT4, assim como 3 celas para o equipamento de seccionamento e proteção dos três transformadores que constituem o PT1.

A Figura 52 mostra as celas de média tensão do posto de transformação.



Figura 52 – Celas de média tensão do posto de transformação 1 (PT1)

Além das celas MT, o posto de transformação possui ainda três celas, uma para cada um dos três transformadores .

A Figura 53 mostra os transformadores constituintes do posto de transformação 1.



Figura 53 – Transformadores constituintes do posto de transformação 1

Apesar de possuir 3 transformadores, o PT apenas possui 2 QGBT. O QGBT 1 é alimentado por 2 transformadores, sendo que em situação normal de funcionamento apenas um transformador de encontra em funcionamento, encontrando-se o outro em situação de reserva. Devido aos transformadores possuírem diferentes grupos horários não é possível efetuar o seu paralelo, nem é desejável que fosse possível uma vez que efetuando o paralelo



dos transformadores as correntes de curto circuito seriam muito superiores podendo causar problemas de poder de corte nos quadros a jusante.

O terceiro transformador alimenta o QGBT 2 sendo totalmente independente do QGBT 1.

#### 3.3.2.4 Posto de transformação 2

O Posto de Transformação 2 é constituído por 2 transformadores secos Schneider de 1600kVA que alimentam um QGBT cada um, QGBT 3 e QGBT 4, nunca sendo feito o paralelo dos transformadores. As celas de média tensão são do tipo compacto isoladas a Hexafluoreto de enxofre (SF6) e a proteção é garantida através de disjuntores.

Figura 54 mostra uma visão geral do posto de transformação, onde se situam as celas de média tensão, os transformadores e os QGBT's do posto de transformação 2.

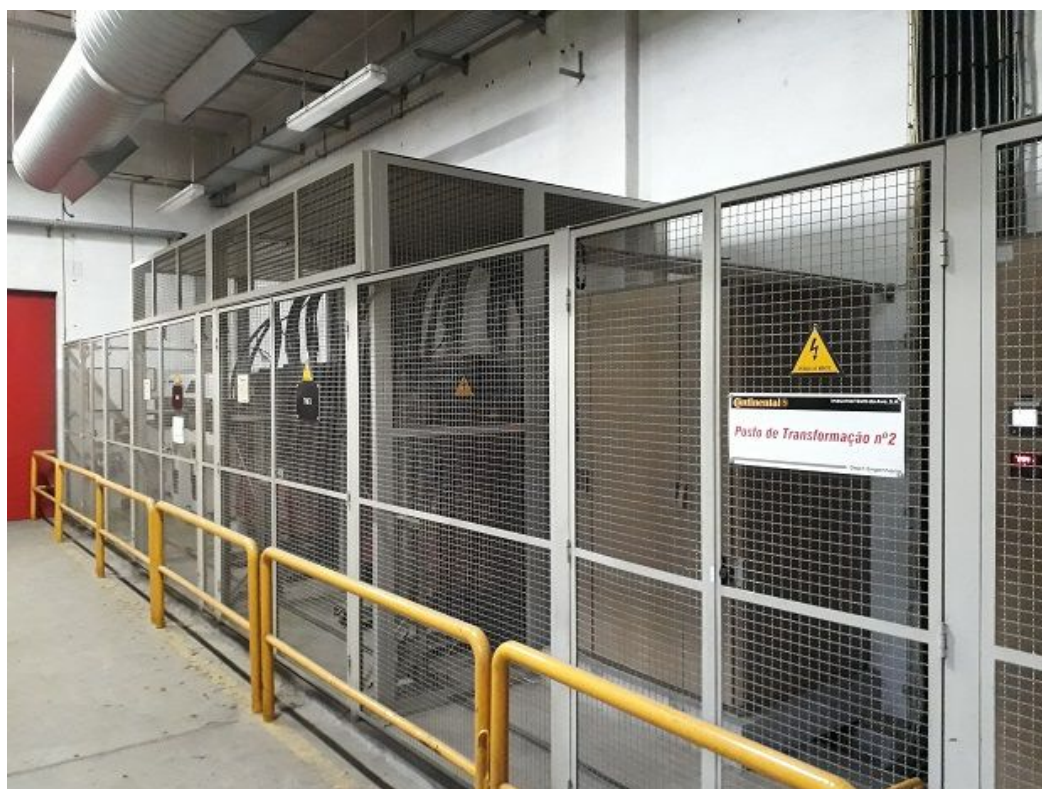


Figura 54 – Visão geral do posto de transformação 2

### 3.3.2.5 Posto de transformação 3

O posto de transformação 3 é onde é feita a chegada de Média Tensão da subestação. É composto por celas de alvenaria para o equipamento de Média Tensão e para um transformador a óleo EFACEC de 2000kVA e possui duas celas de saída, uma para o PT4 e outra para o PT2.

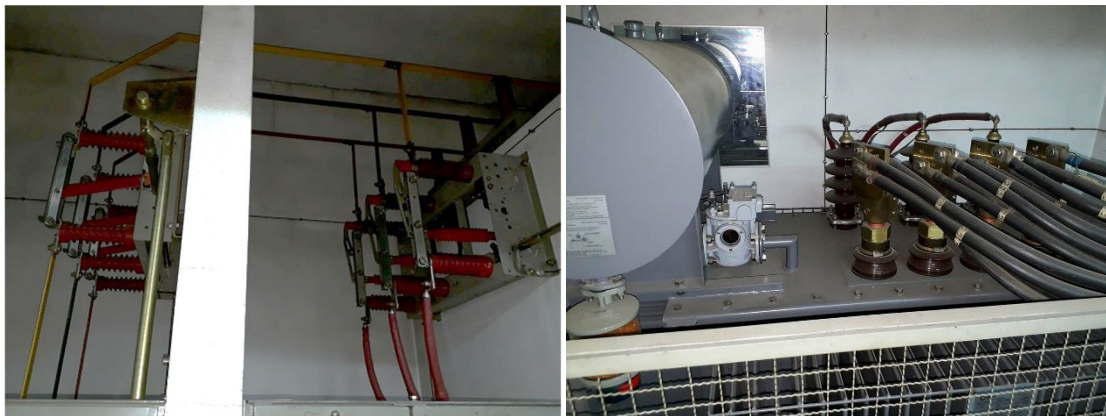


Figura 55 – Cella MT e transformador do PT3

A proteção contra sobrecargas e curto circuitos do lado MT é garantida através de disjuntor como se pode verificar na Figura 56:



Figura 56 – Disjuntor MT de proteção do transformador do PT3



### 3.3.2.6 Posto de transformação 4

O posto de transformação 4 é composto por um transformador seco de 1600 kVA que alimenta o QGBT 6. As celas de média tensão são do tipo compacto isoladas a SF6 com proteção por disjuntor. Este posto de transformação é alimentado em Média Tensão a partir do PT3 e por sua vez efetua ligação com o PT1.



Figura 57 – Celas de MT e Transformador do PT4

### 3.3.2.7 Rede de terras

A instalação é alimentada por uma subestação própria. Apesar da subestação estar afastada algumas dezenas de metros da unidade fabril, as suas redes de terras estão interligadas.

Na eventualidade de se gerar um potencial nas proximidades da subestação devido a um defeito no lado a alta tensão, existe o risco do surgimento de elevadas diferenças de potencial no lado da baixa tensão (BT), caso o neutro da rede BT e as massas da instalação alta tensão (AT) estiverem ligadas ao mesmo eletrodo de terra e a resistência de terra for elevada [5].

Segundo o Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação (RSSPTS) é considerado seguro efetuar a interligação das terras quando a resistência de **terra combinada** dos dois sistemas é inferior a  $1\Omega$  [2].

Onde for impraticável obter este valor de resistência de terra, devem ser tomados cuidados de forma a garantir que as terras são eletricamente distintas e estão fora da zona de influência uma da outra. A zona de influência da terra é aquela em que o potencial do solo sofre uma variação superior a 5% da que experimenta o eletrodo de terra, quando percorrido por uma corrente elétrica. Num solo com estratificação homogênea, pode-se dizer que o potencial

varia sensivelmente na razão inversa da distância ao eléctrodo de terra e na razão direta das dimensões lineares deste. [2]

Os eléctrodos extensos como redes de cabos ou grandes subestações originarão grandes zonas de influência. Deste modo, visto existirem vários postos de transformação distribuídos pela unidade fabril, será muito difícil garantir terras distintas para a proteção e para terra de serviço. Isto implica a adoção de um sistema de terra única entre os vários Postos de Transformação.

No caso da ITA é conseguido um valor de resistência de terra inferior a  $1\Omega$  apenas quando se interligam as terras da unidade fabril e da subestação. Deste modo, apesar da subestação estar a uma distância considerável da unidade fabril, a interligação de terras permite aumentar a segurança da instalação elétrica para as pessoas, assim como diminuir os problemas de incompatibilidade eletromagnética reduzindo o número de avarias em componentes eletrónicos.

### **3.3.2.8 Corrente de curto circuito máxima**

A subestação tem instalado um transformador com uma potência nominal de 5 MVA, o que é uma potência bastante reduzida quando comparada com as típicas subestações normalmente encontradas na rede de distribuição.

Visto que se trata de uma instalação com esquema de ligação à terra do tipo TN, o valor da corrente de curto circuito é de extrema importância para a garantia de proteção contra contactos indirectos pelo que a devemos dimensionar o mais aproximadamente possível do real.

Segundo a análise efetuada a subestação tem uma grande influência na limitação das correntes de curto circuito em BT, contudo, a impedância dos cabos de média tensão para as distâncias entre a Subestação e os Postos de Transformação, que não ultrapassa os 200 metros, pode ser desprezada uma vez que a sua influência é praticamente nula no que diz respeito à limitação da corrente de curto circuito em baixa tensão.

Como referido, a Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A, é alimentada a partir da rede de 60kVA possuindo subestação própria de 5MVA. A distribuição pelos postos de transformação da fábrica é feita a 15kV.

Segundo os documentos de licenciamento da subestação, verificou-se que a corrente de curto circuito  $I_{cc}$  do lado da baixa (MT a 15kV) é de 2300 A e a potência de curto circuito  $S_{cc}$  é de 60 MVA. Com base nestes dados e aplicando um fator de correção para compensar a variação da tensão causada pelo curto-circuito [13], é possível calcular a impedância de curto circuito da rede com base na seguinte formula:

$$Z_{cc_{MT}} = \frac{c \cdot V_{MT}}{\sqrt{3} \cdot I_{cc_{MT}}} = \frac{1.1 \cdot 15000}{\sqrt{3} \cdot 2300} = 4,1418 \Omega$$

Uma vez que o defeito será no lado da Baixa Tensão, os parâmetros determinados para a Média Tensão devem ser em relação à tensão nominal do secundário do transformador. Para o efeito deve ser aplicado o seguinte fator:

$$K = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{15000}{420} = 37,5$$

$$Z_{cc_{MT(400V)}} = \frac{Z_{cc_{MT}}}{K^2} = \frac{4,1418}{37,5^2} = 0,002945 \Omega$$

Para o cálculo da resistência e reactância da rede MT podem ser aplicadas as seguintes relações:

$$X_{cc_{MT(400V)}} = 0,995 \cdot Z_{cc_{MT(400V)}} = 0,995 \cdot 0,002945 = 0,002930 \Omega$$

$$R_{cc_{MT(400V)}} = 0,1 \cdot X_{cc_{MT(400V)}} = 0,1 \cdot 0,002930 = 0,000293 \Omega$$

Tomando como exemplo o Posto de Transformação 4 podemos calcular a corrente de curto circuito nos terminais do secundário do transformador. Trata-se de um transformador 15/0,42kV de 1600kVA de potência e tensão de curto circuito de 6%. A corrente nominal no lado do secundário é de 2199 A.

Calculando a corrente de curto circuito no secundário do mesmo desprezando a impedância a montante obtemos a seguinte corrente de curto circuito:

$$I_{cc} = \frac{I_n \cdot 100}{U_{cc} (\%)} = \frac{2199 \cdot 100}{6} = 38,49 \text{ kA}$$

Efetuando o mesmo exercício, mas desta vez considerando a influência da subestação.

Começamos por determinar a impedância do transformador:

$$Z_{trf} = \frac{U_{20}^2 * U_{cc}(\%)}{100 * S_n} = \frac{420^2 * 6}{100 * 1600 * 10^3} = 0.006615 \Omega$$

$$R_{trf} = \frac{P_{perdas}}{3 * I_n^2} = \frac{15000}{3 * 2199^2} = 0.001034 \Omega$$

$$X_{trf} = \sqrt{(Z_{trf}^2 - R_{trf}^2)} = 0.006533 \Omega$$

Somando a impedância do transformador com a impedância da rede a montante:

$$Z_{total} = \sqrt{(R_{trf} + R_{cc_{MT(400V)}})^2 + (X_{trf} + X_{cc_{MT(400V)}})^2} = 0.009845 \Omega$$

$$I_{cc_{20}} = \frac{c * V_{20}}{\sqrt{3} * Z_{total}} = \frac{1.1 * 420}{\sqrt{3} * 0.009845} = 27,09 \text{ kA}$$

Como se pode verificar, a subestação tem um grande impacto na corrente de curto circuito aos terminais do secundário do transformador de MT/BT baixando a  $I_{cc}$  de 38,49 kA para 27,09 kA.

### 3.3.3 Distribuição de energia em baixa tensão

#### 3.3.3.1 Aspetos gerais

A tipo de indústria, o ambiente em que se insere assim como as suas características e requisitos de funcionamento são informações fulcrais a ter em conta no momento do levantamento da sua instalação elétrica.

Neste tipo de indústria que labora de modo continuo durante 24h por dia e cerca de 360 dias por ano, desligar um disjuntor para identificar o seu destino não é uma opção tendo em conta os inconvenientes que isso acarreta com a paragem de produção de uma máquina produtiva, acrescendo o facto de ser muito comum a falta de identificações nos disjuntores de saída, o levantamento dos circuitos de baixa tensão foi extremamente difícil de realizar.

A rede elétrica de baixa tensão é alimentada a partir dos vários postos de transformação existentes seguindo o esquema de ligação à terra do tipo TN-C e em alguns casos TN-S, onde a utilização de dispositivos de proteção diferencial não é obrigatória. Apenas os

circuitos finais de baixa potência, como por exemplo circuitos de iluminação e escritórios, possuem proteção diferencial.

Devido aos problemas relacionados com a qualidade de energia, o uso de diferenciais acarreta um elevado risco de disparos intempestivos colocando em risco a continuidade de serviço que em alguns casos pode ter graves consequências para o processo produtivo. Além do indicado, o elevado custo dos próprios dispositivos diferenciais é um fator a considerar, principalmente em instalações elétricas de grande extensão.

Onde não existe proteção diferencial é necessário garantir as condições de funcionamento dos dispositivos contra sobre intensidades de forma a garantir a proteção das pessoas e da instalação seguindo as regras inerentes ao esquema de ligação à terra TN.

Muitos dos circuitos estão protegidos com disjuntores reguláveis que permitem adequar as características da proteção às características da carga, assim como realizar uma melhor gestão da seletividade na instalação.

Com este tipo de equipamento existe, contudo, a necessidade de garantir que a regulação dos mesmos está adequada à proteção a realizar, e que a mesma não é alterada. Para isso os disjuntores devem ter o painel de regulação devidamente selado.

Uma das situações mais comuns encontrada durante o levantamento e verificação das condições de dimensionamento das canalizações, foi a incorreta regulação das proteções.

Para evitar que a mesma situação ocorra futuramente, foi colocado em cada quadro que possui disjuntores reguláveis uma tabela com a correta regulação para garantir a proteção da canalização contra sobreintensidades e por sua vez, garantir a proteção de pessoas contra contatos indiretos.

A maior parte das máquinas produtivas existentes são de elevada potência e alimentadas por cabos de grande secção. Na Figura 58 esta representada um tipo de máquina muito comum na unidade fabril.



Figura 58 – Exemplo de máquina produtiva

A máquina da imagem é um torcedor de corda constituído por mais de uma centena de motores elétricos levando a que o consumo normal deste tipo de máquina varie entre os 100 e 160kW dependendo do tipo de artigo que estejam a produzir. Por este motivo é muito improvável que ocorra uma sobrecarga significativa no cabo de alimentação. Mesmo que ocorra um defeito num dos motores, a corrente extra não será significativa além de que a proteção individual de cada motor iria atuar atempadamente. Apesar do indicado, a regulação térmica dos disjuntores foi sempre regulada de acordo com a corrente admissível no cabo de alimentação.

O objetivo deste trabalho passa pela verificação da proteção de pessoas em circuitos protegidos segundo as condições de proteção do esquema de ligação à terra do tipo TN sem diferenciais. No contexto deste trabalho apenas foram analisados os quadros parciais até onde não existirem dispositivos diferenciais, pelo que os circuitos protegidos com dispositivos diferenciais não foram analisados quanto ao seu dimensionamento.

### 3.3.3.2 Quadro geral de baixa tensão 1

#### 3.3.3.2.1 Caraterização da infraestrutura

Trata-se de um quadro geral de baixa tensão (QGBT) datado do final da década de 80 sendo um dos QGBT mais antigos em funcionamento na Indústria Têxtil do Ave, S.A.

A Figura 59 mostra uma imagem do referido quadro geral de baixa tensão.



Figura 59 – Quadro Geral de Baixa Tensão 1

Este quadro funciona como quadro geral de baixa tensão, mas também como quadro de distribuição principal. Deste quadro saem diversos circuitos, desde alimentação de quadros parciais de potência, como circuitos de pequena potência.

O quadro segue o esquema ligação à terra do tipo TN-C sendo que os barramentos de neutro e proteção elétrica estão interligados entre si e ligados ao terminal principal de terras do Posto de Transformação, como se pode verificar na Figura 60. A maior parte das saídas deste QGBT são efetuadas em TN-C e algumas são efetuadas em TN-C-S, sem proteção diferencial.

Além destas ainda possui sub-barramento interno que alimenta um grupo de saídas em TN-C-S protegidas com proteção diferencial que alimentam pequenas cargas.

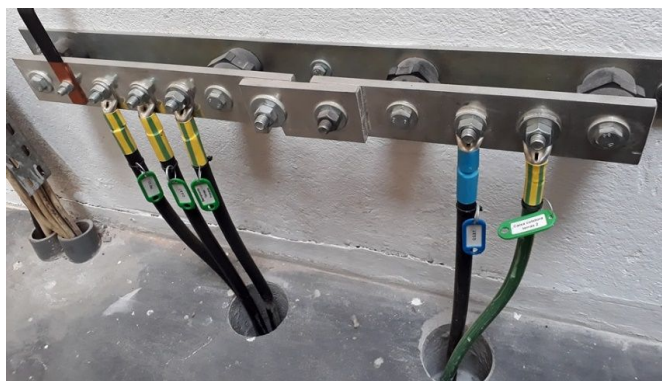


Figura 60 – Terminal principal de terras com terra única

### 3.3.3.2.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas

A primeira não conformidade detetada prende-se com o facto da chapa de características do próprio quadro onde indica uma corrente de curto circuito de apenas 6kA como demonstra a Figura 61.

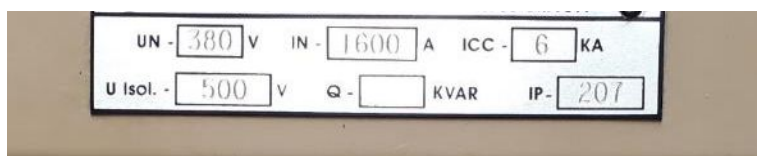


Figura 61 – Chapa de características do quadro geral de baixa tensão 1

Mesmo sem efetuar qualquer tipo de cálculos pode-se constatar que é um poder de corte muito reduzido para um QGBT alimentado por um transformador de 1600 kVA e  $U_{cc}$  de 4%.

Mesmo considerando o impacto da subestação, que faz com que as correntes de curto circuito sejam inferiores, verifica-se que a corrente de curto circuito máxima no QGBT é de 35 kA o que se revela muito superior ao indicado na chapa de características do quadro.

O QGBT pode funcionar como quadro de entrada de uma instalação, neste caso poderá funcionar como quadro de distribuição para os mais diversos circuitos, contudo é necessário ter atenção ao poder de corte dos dispositivos de proteção.

Alguns disjuntores possuem poder de corte adequado, contudo, como se pode verificar na Figura 62 existem disjuntores no QGBT 1 que não possuem poder de corte para suportar os níveis de corrente que podem atingir no caso de curto circuito.





Verifica-se ainda que uma grande parte das saídas deste QGBT não estão identificadas ou a sua identificação não está correta. Verifica-se também que o esquema unifilar existente pouco ou nada tem em comum com o quadro atual devido às diversas intervenções que foram feitas ao longo dos anos.

Além das situações supra indicadas, vários disjuntores reguláveis não apresentam uma correta regulação fazendo com que não esteja garantida a proteção das respetivas canalizações.

A Figura 64 mostra os diversos circuitos alimentados pelo QGBT 1 assim como o a conformidade ou não dos mesmos.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	I <sup>2</sup> z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond lib<In< Iz
TRF	QGBT 1	1450	15	2092,9	2100	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2112,4	0,50%	17970,1	27585	58,36	OK	Ok
QGBT 1	QE 30	24	50	34,64	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	1,76%	570,99	1607,6	2,26	OK	Ok
QGBT 1	QE 37	10	25	14,43	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,76%	1106,81	3038,2	0,60	OK	Ok
QGBT 1	QE 38	10	55	14,43	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	1,08%	520,586	1469,3	2,72	OK	Ok
QGBT 1	QE 44	25	50	36,08	125	8	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	113,6	0,83%	1732,88	5654,8	4,26	OK	NOK
QGBT 1	QE 28	66	35	95,26	125	8	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	165,1	0,82%	3713,25	11702	3,71	OK	Ok
QGBT 1	QE 36	10	15	14,43	125	8	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	135,9	0,53%	5137,83	15065	0,95	OK	Ok
QGBT 1	QE 50	20	70	28,87	125	8	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	135,9	0,77%	1419,95	5654,8	12,42	OK	Ok
QGBT 1	QE 00	5	30	7,22	10	8	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,66%	931,91	2579,2	0,85	OK	Ok
QGBT 1	QE 63	10	20	14,43	25	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,71%	1362,53	3696	0,40	OK	Ok
QGBT 1	QE 43	300	60	433,01	630	10	XV 3(2x120) + 1(2x120)	Unipolar	TRI	F	575,5	1,26%	9388	18579	13,36	OK	NOK
QGBT 1	QE 116	111	110	160,21	630	10	XV 3(2x120) + 1(2x120)	Unipolar	TRI	F	669,2	1,02%	6715,4	14605	26,12	OK	Ok
QGBT 1	QE 35	200	35	288,68	450	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	479,8	0,85%	10621,9	20182	6,20	OK	Ok
QGBT 1	QE 117	55	50	79,39	400	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	0,69%	7120,84	15258	5,81	OK	NOK
QGBT 1	QE113	250	70	360,84	630	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	479,8	1,37%	7539,1	15911	12,31	OK	NOK
QGBT 1	QE 112	20	60	28,87	125	8	3x25+2G6	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,82%	759,16	4879,1	22,18	NOK	NOK
QGBT 1	QE 42	20	30	28,87	100	8	3x25+2G50	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,66%	4187,9	8291,6	0,73	OK	Ok
QGBT 1	QVE	20	15	28,87	100	10	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,58%	5626,25	12751	0,40	OK	Ok
QE 116	Volkman	30	60	43,30	100	5	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,49%	1569,19	4216,3	5,19	OK	Ok
QE 116	AC Lab Malhas	5	40	7,22	64	5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	96,0	1,10%	1520,64	4094,9	2,26	OK	Ok
QE 116	Urdideira	200	60	288,68	300	10	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	1,83%	3989,58	9651	18,50	OK	Ok
QE113	Ramula	97	25	140,01	400	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	1,54%	5713,17	12904	9,02	OK	NOK
QE113	QE 114	35	90	50,52	160	5	XV 3(1x70) + 1(1x70)	Unipolar	TRI	F	252,1	1,70%	2536,38	6526,3	15,58	OK	Ok
QE113	Lavador Gases	50	30	72,17	160	5	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,77%	2653,77	6793,4	1,81	OK	NOK
QE 43	QDF 1.01.01	20	30	28,87	60	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	72,0	1,64%	1394,76	3777,8	1,05	OK	Ok
QE 35	QE 12	20	50	28,87	100	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,11%	1624,51	5259,3	4,84	OK	Ok
QE 35	Canalis Dir	75	30	108,25	160	5	3x70+2G35	Multipolar	S/ESP	E	236,2	1,08%	4445,32	12551	5,07	OK	Ok
QE 35	Canais Esq	75	30	108,25	160	5	3x70+2G4	Multipolar	S/ESP	E	236,2	1,08%	1110,11	12551	81,31	OK	Ok
Canalis Dir	Tear	8	10	11,55	16	5	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	30,7	1,28%	962,566	2771,2	0,14	OK	Ok
Canais Esq	Tear	6	10	8,66	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	30,7	1,23%	583,177	2771,2	0,38	OK	Ok

Figura 64 – Tabela de dimensionamento dos circuitos do QGBT 1 e respetivos quadros parciais

Devido a todas as não conformidades e problemas que este QGBT possui, a solução ótima passaria por criar um novo QGBT onde apenas seriam alimentados os grandes consumidores, e criar um quadro parcial de forma a agrupar todos os circuitos de menor potência. Esta será a solução a seguir, sendo implementada num futuro próximo aquando do próximo investimento para expansão da capacidade produtiva da unidade fabril que irá implicar uma requalificação de grande parte da rede de distribuição elétrica da unidade fabril.

De qualquer modo, foram tomadas as seguintes medidas corretivas:

- Regulação dos disjuntores que possuem regulação;
- Alteração das etiquetas identificativas erradas;
- Eliminação do sistema de correção de fator de potência existente devido aos problemas anteriormente indicados, como demonstrado na Figura 65. No capítulo 3.3.7 é apresentada a solução adotada para a resolução dos problemas relativos à correção de fator de potência.



Figura 65 – Eliminação da secção que constituía o sistema de correção de fator de potência

### 3.3.3.3 Quadro geral de baixa tensão 2

#### 3.3.3.3.1 Caraterização da infraestrutura

O QGBT 2 é um quadro muito recente alimentado a partir de um transformador seco EFACEC de 1600kVA, fazendo parte do PT 1 mas totalmente independente do QGBT 1, não existindo possibilidade de fazer o paralelo dos transformadores nem interligação dos quadros.

A Figura 66 demonstra o QGBT e a interligação com o transformador.



Figura 66 – QGBT 2 e transformador que o alimenta

Este QGBT tem 3 saídas, tal como representado na Figura 67, alimentando 3 quadros que por sua vez alimentam um grande número de máquinas produtivas. Numa fase inicial apenas estavam ligados dois quadros, o QDF2.01 e QDF2.02 e já no decorrer deste estágio foi efetuada a eletrificação do QDF2.03.

A Figura 67 demonstra o esquema unifilar de distribuição dos 3 quadros parciais que constituem a estrutura do QGBT 2, assim como as cargas finais que estes alimentam.

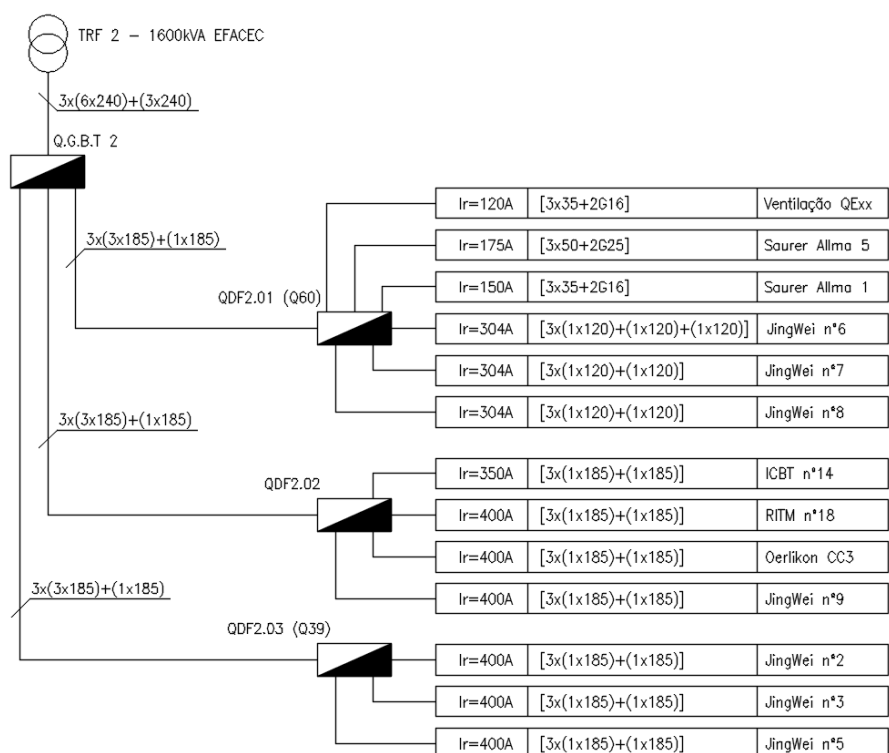


Figura 67 – Esquema unifilar de distribuição do QGBT 2

### 3.3.3.3.2 Não conformidades detetadas

As não conformidades detetadas neste QGBT e nos seus quadros de distribuição passam por um erro muito comum encontrado recorrentemente por toda a instalação. A regulação dos disjuntores está regulada por defeito tal como vieram de fábrica, normalmente para uma corrente nominal igual à corrente nominal máxima do disjuntor, e uma corrente de atuação magnética geralmente regulada para  $5 \times I_n$ .

Devido à consciência das consequências da distorção harmónica durante o dimensionamento, as alimentações elétricas foram dimensionadas com alguma margem de segurança pelo que em grande parte das alimentações garantiam a proteção contra sobreintensidades, e consequentemente garantindo a proteção de pessoas, devido ao seu sobredimensionamento.

Outro ponto a favor é a proximidade dos circuitos constituintes da infraestrutura com o transformador que os alimenta. Isto faz com que as correntes de curto circuito sejam elevadas e por sua vez suficientes para atuar as proteções atempadamente em caso de defeito garantindo assim a proteção das canalizações e das pessoas.



Na Figura 68 pode se verificar o estado inicial das regulações dos dispositivos de proteção e os circuitos que não estavam a cumprir as condições de dimensionamento no que diz respeito às condições de sobrecarga.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transform QGBT 2		1247	20	1799,9	2000	5	XV 3(5x240) + 1(5x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2640,5	0,54%	17651	26298	94,510	OK	Ok
QGBT 2	QDF 2.01	624	60	900,7	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	1,57%	12886	22093	37,933	OK	Ok
QGBT 2	QDF 2.02	624	90	900,7	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	2,09%	11353	20457	48,865	OK	Ok
QGBT 2	QDF 2.03	692	125	998,8	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	2,93%	9970	18831	63,367	OK	Ok
QDF 2.01	JingWei 6	100	57	144,3	400	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	1,96%	5894	12976	8,476	OK	NOK
QDF 2.01	JingWei 7	100	60	144,3	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	1,87%	7120	14931	13,807	OK	Ok
QDF 2.01	JingWei 8	100	43	144,3	400	5	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	513,4	1,79%	8233	16552	10,891	OK	Ok
QDF 2.01	SaurerAllma 1	20	36	28,9	160	5	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	158	158,0	1,71%	2530	8762	3,914	OK	NOK
QDF 2.01	SaurerAllma 5	20	24	28,9	250	5	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	192	192,0	1,64%	4605	12920	2,410	OK	NOK
QDF 2.01	Q.Vent Salão	15	15	21,7	160	5	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	F	158	135,9	1,62%	4763	13522	1,104	OK	NOK
QDF 2.02	ICBT 14	135	23	194,9	400	5	XV 3(1x150) + 1(1x150)	Unipolar	TRI	F	444	374,2	2,27%	8489	16907	6,384	OK	NOK
QDF 2.02	RITM 18	130	20	187,6	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,22%	9172	17819	8,320	OK	Ok
QDF 2.02	Oerlikon CC3	145	40	209,3	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,38%	7693	15783	11,824	OK	Ok
QDF 2.02	JingWei 9	120	40	173,2	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,33%	7693	15783	11,824	OK	Ok
QDF 2.03	JingWei 2	100	40	144,3	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,13%	7032	14797	14,152	OK	Ok
QDF 2.03	JingWei 3	100	15	144,3	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,01%	8620	17085	9,420	OK	Ok
QDF 2.03	JingWei 5	100	19	144,3	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,03%	8319	16672	10,112	OK	Ok

Figura 68 – Tabela de dimensionamento dos circuitos alimentados pelo QGBT 2

Apesar de existir um número de circuitos potencialmente em risco, estes foram facilmente corrigidos através da simples regulação das proteções como se pode verificar nas folhas de dimensionamento em anexo com a regulação correta de todos os circuitos.

### 3.3.3.3 Utilização da capacidade disponível do QGBT

Estando previsto eletrificar o novo quadro, QDF2.03 que iria levar novas cargas ao transformador e sendo as cargas alimentadas por ele praticamente constituídas por grandes máquinas equipadas com variadores de frequência, foi efetuado um estudo para determinar até que ponto se pode elevar a carga do transformador sem o colocar em risco de sobreaquecimento devido às consequências da distorção harmónica presente e inexistência de ventilação forçada na sala do PT1.

O transformador em questão é do tipo Seco, fabricado pela EFACEC com potência nominal de 1600kVA e impedância de curto circuito de 6%. A sua chapa de características pode ser verificada na Figura 69.

Transformador de Distribuição - TIPO SECO

**Powercast**

Tipo  N° de série  Ano de fabricação

Potência estipulada  Normas

Tipo de arrefecimento  Grupo de ligação  Montagem

P<sub>0</sub>  P<sub>k</sub> @ 120 °C  N° de fases  Frequência

Tensão de curto circuito (U<sub>cc</sub>@120°C)  Aquecimento enrolam. AT/BT

Nom.	Ligações	AT	BT
1	6 - 5	15750	420
2	5 - 7	15375	420
X 3	7 - 4	15000	420
4	4 - 8	14625	420
5	8 - 3	14250	420

Tensões (V)

Correntes estipuladas (A)

Nível potência sonora L<sub>WA</sub>  Níveis de isolamento

Classe térmica enrol. AT/BT  Classe ambiental (amb./climático/fogo)

Enrolamentos AT/BT

Chapa magnética

Chapa de cristais orientados

Massa total  Índice de protecção

**efacec** **CE**

Figura 69 – Chapa de características do transformador

As perdas do transformador em carga são dadas pelas perdas por efeito de joule nos enrolamentos, pelas perdas pelas correntes de foucoul e pelas perdas por histerese.

$$P_c = I^2 R + P_{CF} + P_H$$

Não existe nenhum teste definido que possa determinar as perdas no ferro de forma separada. Contudo, podem ser obtidas subtraindo as perdas ohmicas às perdas totais. De modo a obter os valores mais realistas possíveis foi pedido ao fabricante o relatório de ensaio do transformador a partir do qual se obteve os dados indicados na Tabela 11.

					VALORES ENSAIO REAIS		
	Tensão (V)	Potencia (kVA)	Corrente (A)	Resistência entre fases (Ω)	Perdas Joule CC (W)	Perdas Ferro (W)	Perdas Totais (W)
MT	15000	1600	61,58	0,85	12144	2117	14261
BT	420		2199,4	0,000424			

Tabela 11 – Valores de ensaio do transformador

Deve-se garantir que o transformador nunca funcione a elevados níveis de temperatura, mesmo que dentro dos seus valores permissíveis, de modo a maximizar a sua fiabilidade e o seu tempo de vida útil. Efetuando uma análise aos registos de consumo específico das

máquinas alimentadas por este transformador, conseguimos determinar o valor que potencialmente poderá ser atingido se todas as máquinas funcionarem ao valor máximo já registrado por elas.

As máquinas em questão são Torcedores que têm ciclos de produção de longa duração, com consumos muito constantes ao longo do tempo, que variam conforme o artigo a ser produzido. Deste modo, não é impossível que no futuro, dependendo dos objetivos de produção, as máquinas funcionem em potências próximas dos seus limites já registrados.

Na Tabela 12 está o somatório das potências possíveis de ser consumidas pelas máquinas produtivas alimentadas pelo QGBT.

Origem	Destino	Artigo/Velocidade	Ventilação	P (kW)	Ib (A)
<b>QGBT 2</b>	QDF 2.01	-		453	703
<b>QDF 2.01</b>	JingWei 6	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
	JingWei 7	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
	JingWei 8	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
	SaurerAlma 1	940 @ 6000rpm	-	39	54,705
	SaurerAlma 2	940 @ 6000rpm	-	39	54,705
<b>QGBT 2</b>	QDF 2.02	-		725	812
<b>QDF 2.02</b>	ICBT 14	1440 @ 10000rpm	ON	158	221,63
	RITM 18	1440 @ 10000rpm	ON	158	221,63
	Oerlikon CC3	NCH01S @ 10000	-	148	207,6
	JingWei 9	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
<b>QGBT 2</b>	QDF 2.03	-		375	571
<b>QDF 2.03</b>	JingWei 2	2200 @ 8500rpm	-	125	175,34
	JingWei 3	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
	JingWei 5	2200 @ 8500rpm	ON	141	197,78
				$\Sigma = 1513$	$\Sigma = 2122$
				96,49%	

Tabela 12 – Potência absorvida pelas máquinas alimentadas através do QGBT 2

Neste caso hipotético, com todas as máquinas a produzir o artigo mais pesado e com a ventilação das máquinas ligada, o transformador atingiria 97% da sua capacidade nominal de 1600kVA o que mesmo sem considerar os efeitos da distorção harmônica já será uma situação a evitar.



#### 3.3.3.3.4 Desclassificação do transformador segundo Norma CENELEC – EN 50464-3:2007

Segundo a norma CENELEC – EN 50464-3:2007 para um transformador de distribuição quando alimenta cargas não lineares, deve ser aplicado um factor de desclassificação devido às perdas extra a que o transformador está sujeito [11], sendo o factor de desclassificação a aplicar aos valores nominais dado por:

$$K = \left[ 1 + \frac{e}{1+e} \left( \frac{I_1}{I_{ef}} \right)^2 \sum_{h=1}^{h=h_{max}} h^q \left( \frac{I_h}{I_{ef}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Onde:

- $e$  = Estimativa de perdas por correntes parasitas à frequência fundamental sobre as perdas por efeito de joule;
- $h$  = harmónica de ordem  $h$
- $I_{ef}$  = valor eficaz da corrente
- $I_h$  = Amplitude de corrente da harmónica de ordem  $h$
- $I_1$  = Amplitude de corrente da harmónica à frequência fundamental
- $q$  = Constante exponencial que depende do tipo de enrolamentos e da frequência. Toma tipicamente o valor de 1,7 para transformadores com enrolamentos se secção circular ou rectangular e 1,5 para transformadores com enrolamentos compostos por multifilamentos.

Para o efeito, foi efetuada uma análise ao espectro harmónico da corrente antes e depois de serem adicionadas as novas cargas.

Estes valores foram retirados através do analisador de energia presente no QGBT 2, onde a corrente eficaz no momento era de 944A que corresponde a uma utilização de 40% da capacidade do transformador estando a THDI a rondar os 20% e o espectro harmónico está representado na Figura 70.

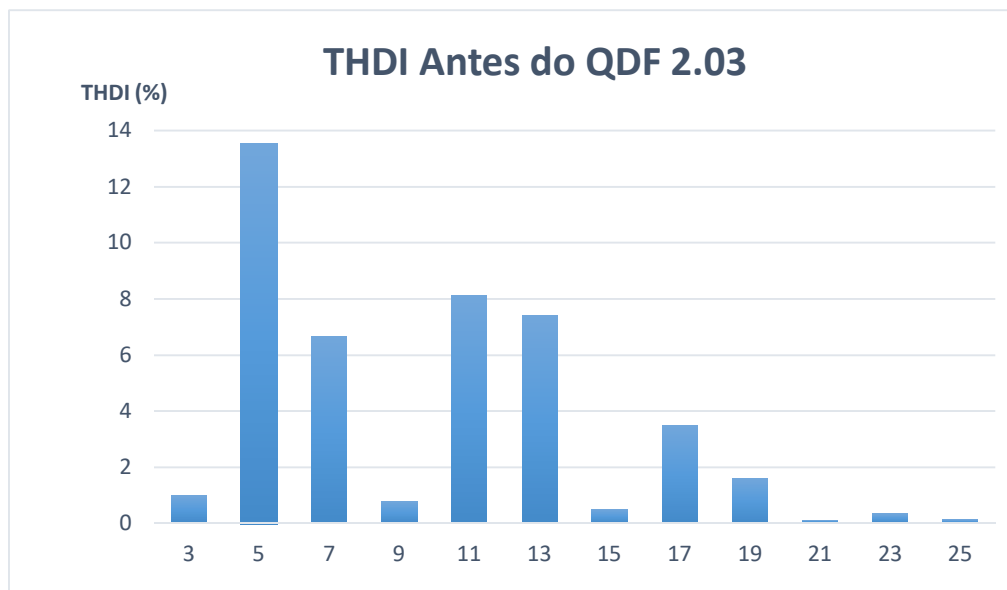


Figura 70 – Espectro harmónico antes de adicionar o novo quadro

A Tabela 13 apresenta o conteúdo harmónico da corrente e os respetivos cálculos para determinação do fator de depreciação.

$h$	$I_h$	$I_h/I_{ef}$	$h^2$	$(I_h/I_{ef})^2$	$(I_h/I_{ef})^2 * h^2$	$I_h^2$	$h^q$	$(I_h/I_{ef})^2 * h^q$
1	903,000	0,9557	1	0,9134	0,9134	815409,0000	1,0000	0,9134
3	14,073	0,0149	9	0,0002	0,0020	198,0353	6,4730	0,0014
5	196,694	0,2082	25	0,0433	1,0834	38688,6477	15,4258	0,6685
7	97,125	0,1028	49	0,0106	0,5178	9433,2462	27,3317	0,2888
9	11,173	0,0118	81	0,0001	0,0113	124,8344	41,8998	0,0059
11	118,484	0,1254	121	0,0157	1,9027	14038,5609	58,9342	0,9268
13	107,809	0,1141	169	0,0130	2,2003	11622,8452	78,2895	1,0193
15	7,280	0,0077	225	0,0001	0,0134	52,9979	99,8516	0,0059
17	51,000	0,0540	289	0,0029	0,8420	2600,9864	123,5274	0,3599
19	23,324	0,0247	361	0,0006	0,2200	544,0292	149,2386	0,0909
21	1,457	0,0015	441	0,0000	0,0010	2,1229	176,9183	0,0004
23	4,857	0,0051	529	0,0000	0,0140	23,5943	206,5082	0,0055
25	1,943	0,0021	625	0,0000	0,0026	3,7765	237,9567	0,0010
								$\Sigma =$ 4,2877

Tabela 13 – Espectro Harmónico da corrente e respetivos cálculos ( $I_{ef} = 989 \text{ A}$ )

Aplicando a fórmula ( 1 ) obtemos um fator K a aplicar ao transformador tendo em conta o espectro harmónico apresentado que neste caso resulta em  $K = 1,2575$ .

O valor da depreciação a ser aplicado aos valores nominais do transformador é obtido através do inverso do fator K calculado, que para este espectro harmónico será de 79,52%. Isso significa que a corrente nominal do transformador passará a estar limitada a 1748,7 A e a potência nominal a 1272,4 kVA.

É importante referir que estes valores são aplicáveis para este espectro harmónico devendo ser efetuada nova análise assim que se alterem as cargas.

O espectro harmónico após a eletrificação do novo quadro com as novas cargas em funcionamento foi registado e está representado na Figura 71. Após se adicionarem as novas cargas ao transformador a corrente eficaz subiu de 1466 A tendo sido efetuada nova análise ao espectro harmónico.

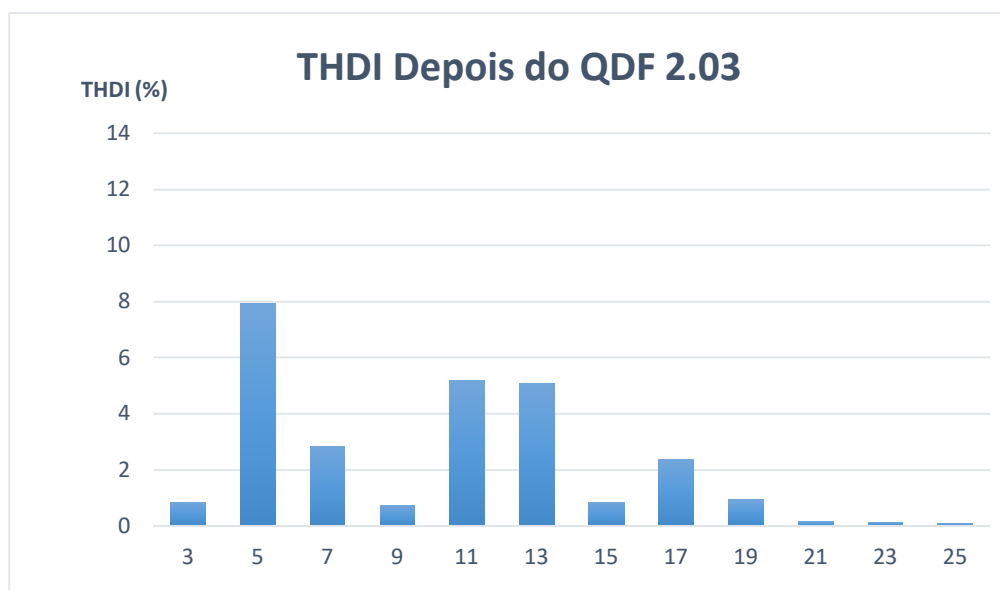


Figura 71 – Espectro harmónico após alimentação do novo quadro

Uma simples análise ao gráfico e chegamos à conclusão que a distorção harmónica da corrente diminuiu de forma geral. A THDI média desceu de cerca de 20% para 12% apesar de se ter aumentado ao número de cargas geradoras de distorção harmónica.

Cada carga não linear gera correntes harmónicas independentes, com amplitude e ângulo de fase de cada harmónica dependentes do tipo de circuito e carga instantânea. Quando várias cargas estão ligadas em paralelo, por exemplo, um determinado número de computadores

num escritório, a distorção harmónica global das cargas será inferior do que a soma individual das amplitudes das cargas. Ou seja, a distorção harmónica global será sempre inferior ao que seria expectável quando medindo as distorções das cargas individuais.

Da mesma maneira, quando também estão presentes cargas lineares, a distorção harmónica global também será menor, uma vez que a componente harmónica será uma proporção menor da carga total.

A Tabela 14 apresenta o conteúdo harmónico da corrente e os respetivos cálculos para determinação do fator de depreciação.

$h$	$I_h$	$I_h/I_{ef}$	$h^2$	$(I_h/I_{ef})^2$	$(I_h/I_{ef})^2 * h^2$	$I_h^2$	$h^q$	$(I_h/I_{ef})^2 * h^q$
1	1457,033	0,9935	1	0,9870	0,9870	2122946,1344	1,0000	0,9870
3	12,100	0,0083	9	0,0001	0,0006	146,4100	6,4730	0,0004
5	115,467	0,0787	25	0,0062	0,1550	13332,5511	15,4258	0,0956
7	41,100	0,0280	49	0,0008	0,0385	1689,2100	27,3317	0,0215
9	10,633	0,0073	81	0,0001	0,0043	113,0678	41,8998	0,0022
11	75,900	0,0518	121	0,0027	0,3241	5760,8100	58,9342	0,1578
13	74,133	0,0505	169	0,0026	0,4318	5495,7511	78,2895	0,2000
15	12,233	0,0083	225	0,0001	0,0157	149,6544	99,8516	0,0069
17	34,367	0,0234	289	0,0005	0,1587	1181,0678	123,5274	0,0678
19	13,400	0,0091	361	0,0001	0,0301	179,5600	149,2386	0,0125
21	2,233	0,0015	441	0,0000	0,0010	4,9878	176,9183	0,0004
23	1,933	0,0013	529	0,0000	0,0009	3,7378	206,5082	0,0004
25	1,233	0,0008	625	0,0000	0,0004	1,5211	237,9567	0,0002
								$\Sigma =$ 1,5527

Tabela 14 – Espectro Harmónico da corrente e respetivos cálculos ( $I_{ef} = 1466 A$ )

Aplicando novamente a formula ( 1 ) ao novo espectro harmónico, obtemos um  $K = 1,1079$ . O valor da depreciação a ser aplicado aos valores nominais do transformador é obtido através do inverso do fator K calculado, que para este espectro harmónico será de 90,25%. Isso significa que a corrente nominal do transformador passará a estar limitada a 1984,8 A e a potência nominal a 1444,2 kVA.

Devido à imprevisibilidade das cargas a alimentar pelo transformador é muito difícil definir um valor para a desclassificação a ter em conta para uma instalação uma vez que o número de cargas ligadas e o seu consumo instantâneo varia constantemente, logo a distorção harmónica também irá variar. Esta análise preditiva é ainda mais difícil no caso de unidades fabris em que o seu layout produtivo está em constante alteração. É importante garantir que não se atinge valores de carga do transformador muito próximos dos seus valores nominais, devendo-se deixar uma margem de segurança, contudo, uma vez que a principal consequência da circulação de correntes harmónicas no transformador é o seu aquecimento, a prioridade deve passar por monitorizar a temperatura do transformador para impedir que esta atinja valores críticos.

#### **3.3.3.3.5 Sistema de ventilação forçada - PT1**

De forma a evitar o funcionamento do transformador com elevadas temperaturas devido ao tipo de cargas que este alimenta, foi considerado para o Posto de Transformação nº1 um sistema de ventilação forçada. Numa primeira fase foi contactada uma empresa de projetos de forma a desenvolver o projeto do sistema de ventilação a implementar. Após a fase de projeto foi feita uma consulta ao mercado, tendo sido enviado o caderno de encargos para um determinado número de empresas. Após análise das propostas recebidas foi feita uma segunda fase apenas com as 2 propostas mais competitivas até se escolher a proposta mais atrativa e adjudicar o trabalho à empresa vencedora.

O quadro do sistema de ventilação será instalado no interior do PT1 e será alimentado a partir do QGBT 1 utilizando para o efeito um disjuntor de reserva. A alimentação do quadro de ventilação fica excluída da responsabilidade da empresa instaladora do sistema.

O disjuntor de reserva disponível para a alimentação do novo quadro do sistema de ventilação possui corrente nominal de 125 A sendo regulável até  $0.8 \times I_n$ , ou seja, 100A. Segundo a empresa instaladora do sistema de ventilação a corrente nominal do quadro é de 64A pelo que este disjuntor pode ser usado para o efeito.

A ligação será efetuada com cabo  $5G25mm^2$  de forma a cumprir com todas as condições como pode ser verificado na Figura 72 e o novo quadro deve estar dotado de um poder de pelo menos 15kA não existindo proteção diferencial desta alimentação sendo aplicadas as regras do esquema de ligação à terra do tipo TN-S.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	I <sup>2</sup> z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
QGBT 1	QVE	45	15	64,95	100	10	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,68%	5626,3	12751	0,404	OK	Ok

Figura 72 – Dimensionamento da alimentação do Quadro de Ventilação do PT1

A Figura 73 demonstra os trabalhos de instalação das condutas de ventilação que estão a decorrer neste momento.



Figura 73 – Trabalhos de instalação de condutas do sistema de ventilação forçada no posto de transformação 1

### 3.3.3.4 Quadro geral de baixa tensão 3 e 4

#### 3.3.3.4.1 Caraterização da infraestrutura

Cada QGBT possui um disjuntor de saída que tem como destino o mesmo quadro, o QDF3.01 / 4.01. É a partir do QDF 3.01 / 4.01 que é feita toda a distribuição de energia pelos respetivos circuitos. Na Figura 74 está representado o esquema unifilar da alimentação deste quadro de distribuição.

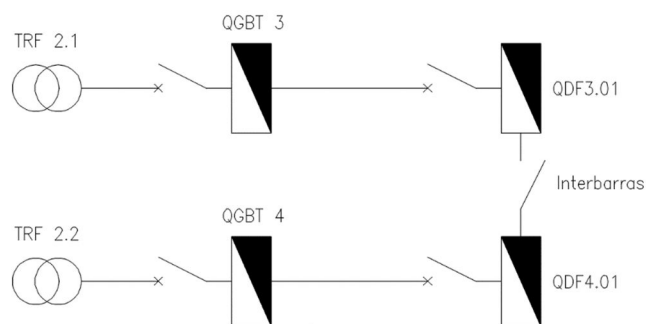


Figura 74 – Esquema unifilar desde o transformador ao quadro de distribuição

O QDF3.01/4.01 possui um disjuntor de entrada para cada transformador existindo um interbarras que permite efetuar o paralelo dos transformadores. Apesar de ser um quadro comum para ambos os transformadores e ser possível efetuar o paralelo com recurso ao interbarras existente, este nunca é feito uma vez que isso tem como consequência um aumento significativo das correntes de curto circuito o que poderá comprometer o poder de corte das proteções do próprio quadro e dos vários quadros existentes a jusante.

A Figura 75 mostra o quadro de distribuição QDF 3.01 / 4.01.



Figura 75 – QDF3.01/4.01 - Quadro de distribuição do PT2 alimentado pelo QGBT

3 e 4

### 3.3.3.4.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas

Após levantamento e análise dos circuitos do PT2 verificou-se que grande parte dos disjuntores de saída estão mal regulados o que implica o não cumprimento das condições contra proteção de sobrecarga nos condutores assim como as condições de proteção contra curto circuitos sendo que a corrente de regulação magnética de alguns disjuntores estava



demasiado elevada, o que significa que poderia ocorrer um circuito que não gerasse corrente suficiente para atuar a proteção de forma instantânea.

A Figura 76 mostra a folha de dimensionamento relativa aos circuitos alimentados pelo quadro de distribuição QDF 3.01 / 4.01.

Descrição	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Alimentação Canalis A1	QDF 3.01	Canalis A1	600	30	866	1250	5	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	2,98%	11432	22176	209,35	OK	NOK
Alimentação Canalis A2	QDF 3.01	Canalis A2	600	30	866	1250	5	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	2,98%	11432	22176	209,35	OK	NOK
Centrais 3 e 4	QDF 3.01	QDF 3.01.01	100	50	144	320	10	3x70+2G35	Multipolar S/ESP	E		246	211,6	2,98%	3610,9	11270	59,63	OK	NOK
Q.Gerador	QDF 3.01	QDG 3.01.02	100	100	144	160	10	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	597,0	2,94%	5837,7	13133	485,56	OK	Ok
Iluminação Zona Central 2	QDF 3.01	QDF 3.01.03	15	135	22	100	5	3x16+2G10	Multipolar S/ESP	E		100	100,0	3,27%	455,59	1650,8	100,65	NOK	NOK
Ilum. Junto Monta cargas 3	QDF 3.01	QDL 3.01.05	15	50	22	128	10	3x16+2G10	Multipolar S/ESP	E		100	100,0	2,75%	1167,4	3998,1	39,32	NOK	NOK
Monta Cargas 3	QDF 3.01	QDF 3.01.06	30	50	43	40	10	5G10	Multipolar S/ESP	E		75	75,0	3,40%	963,14	2662,1	102,22	OK	NOK
Alimentação Canalis A3	QDF 4.01	Canalis A3	600	50	866	1250	5	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950	3,33%	10042	20885	209,35	OK	NOK
Alimentação Canalis A4	QDF 4.01	Canalis A4	600	50	866	1250	5	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950	3,33%	10042	20885	209,35	OK	NOK
Centrais 1 e 2	QDF 4.01	QDF 4.01.01	100	160	144	360	2	XV 3(2x120) + 1(2x70)	Unipolar	TRI	F	766	599	3,13%	4087,6	11690	1004,29	OK	Ok
Carregador Baterias Cave	QDF 4.01	QDF 4.01.02	100	70	144	160	7	3x70+2G35	Multipolar S/ESP	E		246	246	3,19%	2777,8	9271,7	170,37	OK	Ok
Iluminação Saão 2	QDF 4.01	QDF 4.01.03	15	135	22	100	5	3x16+2G10	Multipolar S/ESP	E		100	100	3,27%	455,59	1650,8	100,65	NOK	NOK
Ilum. ICBT	QDF 4.01	QDF 4.01.04	15	50	22	100	5	3x16+2G10	Multipolar S/ESP	E		100	100	2,75%	1167,4	3998,1	100,65	OK	NOK
Monta Cargas 2	QDF 4.01	QDF 3.01.06	30	50	43	40	10	5G10	Multipolar S/ESP	E		75	75	3,40%	963,14	2662,1	102,22	OK	NOK

Figura 76 – Tabela de dimensionamento das saídas existentes no QDF3.01 / QDF4.01

Neste caso, foi possível garantir a proteção de todos os circuitos recorrendo apenas à regulação dos disjuntores, à exceção do circuito que alimenta o “Quadro de Iluminação da zona da central 3” uma vez que este não possui regulação da parte magnética. Uma solução simples para esta situação passa pela utilização do disjuntor de reserva imediatamente ao lado, que já está dotado de regulação térmica e magnética, tal como representado na Figura 77.



Figura 77 – Disjuntor de reserva totalmente regulável à esquerda do disjuntor utilizado



### 3.3.3.5 Quadro geral de baixo tensão 5

#### 3.3.3.5.1 Caracterização da infraestrutura

O QGBT 5 está situado no “coração” da fábrica, é a partir deste posto de transformação que é alimentada uma das máquinas mais importantes da unidade fabril, a máquina de impregnar tela Beninger Zell. Além desta máquina alimenta também vários torcedores assim como outros tipos de consumidores muito variados. O esquema de ligação à terra deste QGBT é do tipo TN-C-S.

O QGBT 5 é um quadro bastante recente em que a sua infraestrutura pode ser resumida a três quadros principais, tal como indicado na Figura 78

- QP1 – Quadro de distribuição de um grande número de circuitos de baixa potência;
- Q8 – Quadro de distribuição que alimenta máquinas de grande potência;
- Quadro da Zell – Alimentação da máquina de impregnar tela *Beninger Zell*.

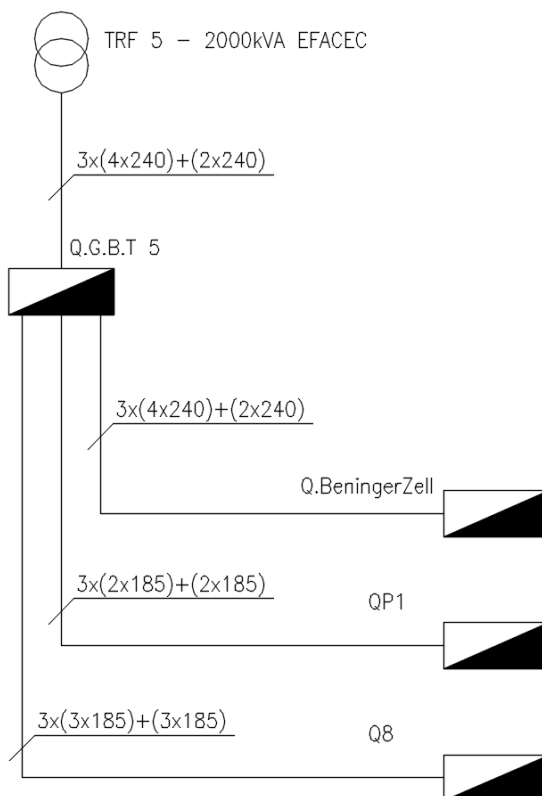


Figura 78 – Esquema Unifilar de distribuição do QGBT 5

### 3.3.3.5.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas

Efetuada o levantamento e verificação das condições de dimensionamento verifica-se que as proteções da alimentação do Q8 e do próprio QGBT não estão com a regulação correta tal como se pode verificar na Figura 79.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transformador	QGBT 5	2000	20	2886,75	2000	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	2112,4	0,92%	16813	26106	66,672	OK	NOK
QGBT 5	Q. Zell	200	60	288,68	1800	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	1816,6	1,19%	12879	23535	113,623	OK	Ok
QGBT 5	Q8	700	30	1010,36	1250	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	1,50%	14295	23853	30,824	OK	NOK
QGBT 5	QP1	346	10	499,41	630	5	XV 3(2x185) + 1(2x185)	Unipolar	TRI	F	1020	798,3	1,03%	15452	24929	11,725	OK	Ok
Q8	Oerlikon CC	170	70	245,37	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,09%	6979	14869	14,368	OK	Ok
Q8	ICBT 17	150	90	216,51	400	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,60%	3944	9492	11,864	OK	NOK
Q8	ICBT 12	150	100	216,51	400	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,72%	3650	8897	13,850	OK	NOK
Q8	ICBT 16	150	125	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,43%	4978	11473	28,246	OK	Ok
Q8	ICBT 11	150	135	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,51%	4731	11016	31,269	OK	Ok

Figura 79 – Tabela de dimensionamento do QGBT 5 e quadro parcial Q8

Os consumidores principais do Q8 são máquinas denominadas por torcedores de corda, com potências absorvidas na ordem dos 150kW e protegidas por disjuntores de corrente nominal de 400A. Devido a duas dessas máquinas, nomeadamente o ICBT nº17 e ICBT nº12, serem alimentadas por cabos unipolares de secção de 95mm<sup>2</sup> que possuem uma corrente admissível inferior aos 400A nominais do dispositivo de proteção. Através da regulação dos disjuntores foi possível corrigir esta situação.

O quadro de distribuição Q8, alimentado a partir do PT3 – QGBT 5, tem uma corrente nominal de 1600A. Tendo em conta que a corrente nominal é bastante elevada e o quadro tinha um consumo de corrente bastante estável na ordem dos 700A foi lhe adicionada uma nova máquina, um torcedor de corda *Oerlikon CC3 nº5*, que elevou o consumo para a ordem dos 900A.

Efetuada uma análise da alimentação deste quadro, rapidamente se verificou que apesar da corrente nominal do mesmo ser de 1600 A, a canalização que o alimenta desde o QGBT 5 tem uma corrente admissível de cerca de 1100 A. O mesmo acontece com a alimentação do próprio QGBT 5, que possui uma corrente nominal de 2500A e é alimentado por um transformador de 2000kVA que se traduzem em mais de 2800A.

O problema põe-se mais uma vez na cablagem que interliga o transformador ao QGBT que é feita através de cabos unipolares XV 3(4x240)+1(2x240) que se traduzem numa corrente

admissível de 1744A. A alimentação do Q8 desde a sua origem pode ser visualizada na Figura 80.



Figura 80 – Esquema unifilar da alimentação do Q8

Esta situação significa que ao contrário do que se pensava, este quadro está bastante próximo da sua capacidade máxima que está limitada pela própria alimentação do mesmo. De futuro é aconselhável reforçar a alimentação de todo este circuito antes de serem adicionadas novas cargas:

1. Reforçar ligação entre o transformador e o QGBT 5 de forma a aumentar a corrente admissível de 1744A para 2500A de forma a tirar partido da capacidade total do QGBT.

Solução possível: XV 3(6x240)+1(6x240) ; Iz=2725A

2. Trocar disjuntor de saída do QGBT que alimenta o Q8 para permitir uma corrente nominal suficientemente elevada de forma a se poder tirar partido da capacidade do Q8, por exemplo disjuntor com corrente nominal até 1600A.

3. Reforçar ligação entre o QGBT 5 e o Q8 de forma a aumentar a corrente admissível de 1099A para 1600A de forma a igualar a corrente nominal do Q8.

Soluções possíveis: XV 3(4x240)+1(4x240) ; Iz=1744A

XV 3(5x185)+1(5x185) ; Iz=1831A

### 3.3.3.6 QGBT 6

#### 3.3.3.6.1 Caraterização da infraestrutura

O QGBT 6, como se pode verificar na Figura 81, possui uma distribuição de simples análise uma vez que o próprio quadro serve de quadro de distribuição alimentando várias máquinas diretamente não existindo quadros parciais de distribuição. O esquema de ligação à terra deste QGBT é do tipo TN-C-S.

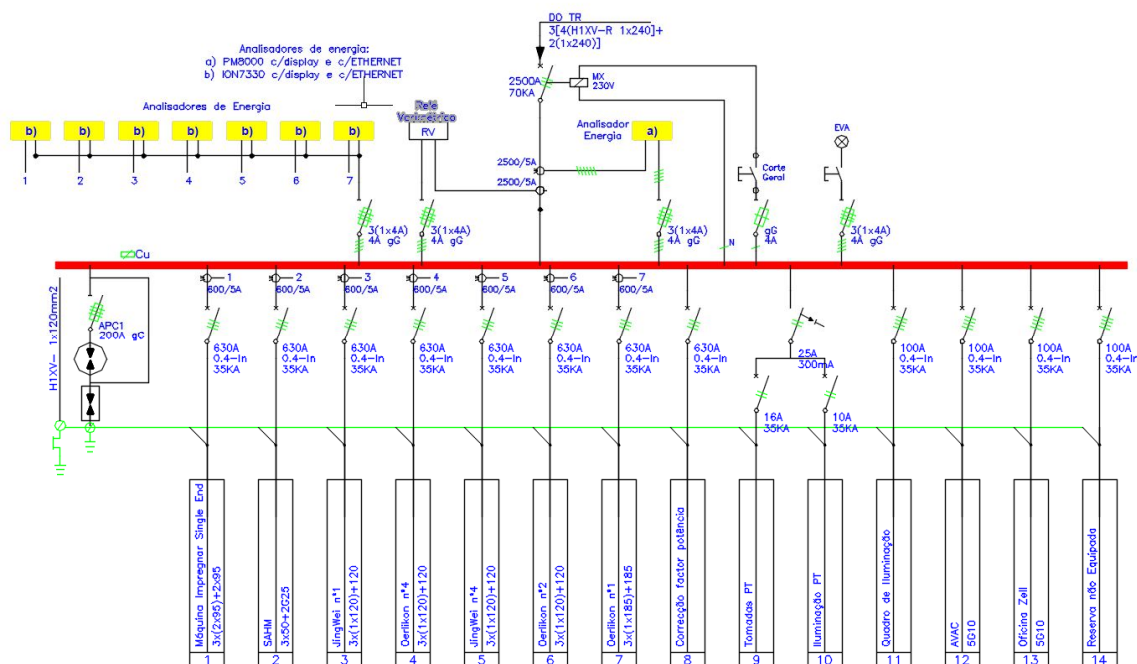


Figura 81 – Esquema unifilar do QGBT 6

#### 3.3.3.6.2 Não conformidades detetadas e medidas corretivas propostas

Numa primeira análise foi verificado que todos os disjuntores presentes neste quadro estavam com a sua regulação para o valor máximo o que significa que grande parte dos circuitos a partir dali alimentados estariam numa condição potencialmente de risco, contudo só poderia ser comprovado após o levantamento e verificação das condições de dimensionamento. A maior dificuldade encontrada durante o levantamento deste QGBT prende-se com o facto de uma grande parte das identificações das saídas estarem mal identificadas. Sem possibilidade de desligar as saídas a tarefa de identificar a máquina que determinado disjuntor alimenta torna-se bastante mais complicada. Para fazer a correspondência entre cada disjuntor e a máquina que alimenta foi através da corrente

consumida, com recurso aos analisadores de energia. As máquinas que este QGBT alimenta são na sua maioria torcedores de grande dimensão e com consumo muito estável. Estas máquinas estão dotadas de sistemas de ventilação que podem ser controlados de forma manual e representam cerca de 15 kW quando na sua capacidade máxima. Deste modo, desligando todos os sistemas de ventilação e de seguida ligando um a um de forma manual foi possível verificar no QGBT qual das saídas aumentava o seu consumo associando assim cada disjuntor à máquina correspondente.

Como referido, todos os disjuntores estavam com a sua regulação térmica no máximo e a regulação magnética para  $6xI_n$ , o que leva a crer que estariam desta forma desde a sua entrada em serviço. Após o devido dimensionamento das saídas, verificou-se que todas as saídas estavam em condição de risco, uma vez que nenhuma cumpria todas as condições de segurança tal como pode ser verificado na Figura 82.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét Ref	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transform QGBT 6		1400	20	2021	2100	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	2112,4	0,64%	16813	26106	66,672	249,23	OK	Ok
QGBT 6	Single End	100	100	144	630	6	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	513,4	1,13%	6193	13598	19,248	205,53	OK	NOK
QGBT 6	SAHM	40	100	58	630	6	5G50	Multipolar S/ESP	E	192	165,1	1,20%	2237	5807,2	10,218	54,09	NOK	NOK	
QGBT 6	Jing Wei nº 1	160	150	231	630	6	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314	8197,5	26,807	129,81	NOK	NOK
QGBT 6	Oerlikon nº 4	160	150	231	630	6	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	335,7	2,28%	3314	8197,5	26,807	129,81	NOK	NOK
QGBT 6	Jing Wei nº 4	160	150	231	630	6	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314	8197,5	26,807	129,81	NOK	NOK
QGBT 6	Oerlikon nº 2	160	150	231	630	6	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314	8197,5	26,807	129,81	NOK	NOK
QGBT 6	Oerlikon nº 1	160	150	231	630	6	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	1,84%	4617	10801	32,837	200,12	OK	NOK
QGBT 6	AVAC	25	100	36	70	6	5G10	Multipolar S/ESP	E	75	64,5	2,23%	500,6	1412,9	8,158	97,35	OK	NOK	
QGBT 6	Oficina Zell	25	100	36	100	4	5G10	Multipolar S/ESP	E	75	64,5	2,23%	500,6	1412,9	8,158	102,22	OK	NOK	

Figura 82 – Folha de dimensionamento das saídas do QGBT 6 na situação inicial

Além das condições térmicas, devido à corrente  $I_n$  estar regulada acima da corrente admissível do cabo, a situação mais perigosa será em caso de curto circuito, que nas condições de funcionamento do esquema de ligação à terra do tipo TN, são as condições de defeito de uma parte sob tensão à massa que podem originar contactos indirectos e colocar as pessoas em situação de risco. Uma vez que todos os disjuntores possuem regulação da sua parte térmica e magnética foi possível colocar todas as saídas devidamente protegidas cumprindo todas as condições de segurança ajustando a corrente nominal para um valor inferior à corrente admissível do cabo e a regulação da parte magnética de forma a manter a

corrente de atuação magnética inferior à corrente de curto circuito mínima do circuito em questão e assim garantir a proteção contra contactos indiretos.

### 3.3.4 Alimentação de socorro

A Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A, dispõe de um grupo gerador diesel que serve de *backup* para determinadas cargas consideradas críticas na eventualidade de uma falha de energia.

Devido aos elevados consumos das máquinas de produção, é impensável manter a produção com recurso ao gerador diesel, pelo que este apenas alimenta cargas que foram consideradas como cargas socorridas, nomeadamente a iluminação dos vários salões da fábrica, a alimentação da cantina, cargas de emergência, como a alimentação do sistema hidropressor de incêndios assim como a alimentação da UPS que por sua vez alimenta vários circuitos considerados como críticos, tais como circuitos de tomadas dos escritórios e alimentação dos bastidores.

A Figura 83 mostra o grupo gerador existente na unidade fabril.



Figura 83 – Grupo Gerador Diesel

A potência nominal do grupo gerador diesel é de 294kVA que se traduzem em 446A em regime de funcionamento contínuo.

A Figura 84 pode-se ver o diagrama de alimentação do quadro do grupo gerador. Este é alimentado a partir do QGBT 3, apresentado anteriormente, e por sua vez do quadro de

distribuição QDF 3.01. A corrente nominal do disjuntor que protege a canalização entre o QDF 3.01 e o QDG é de 160 A e o respectivo cabo VV 3x50+2G25mm<sup>2</sup>.

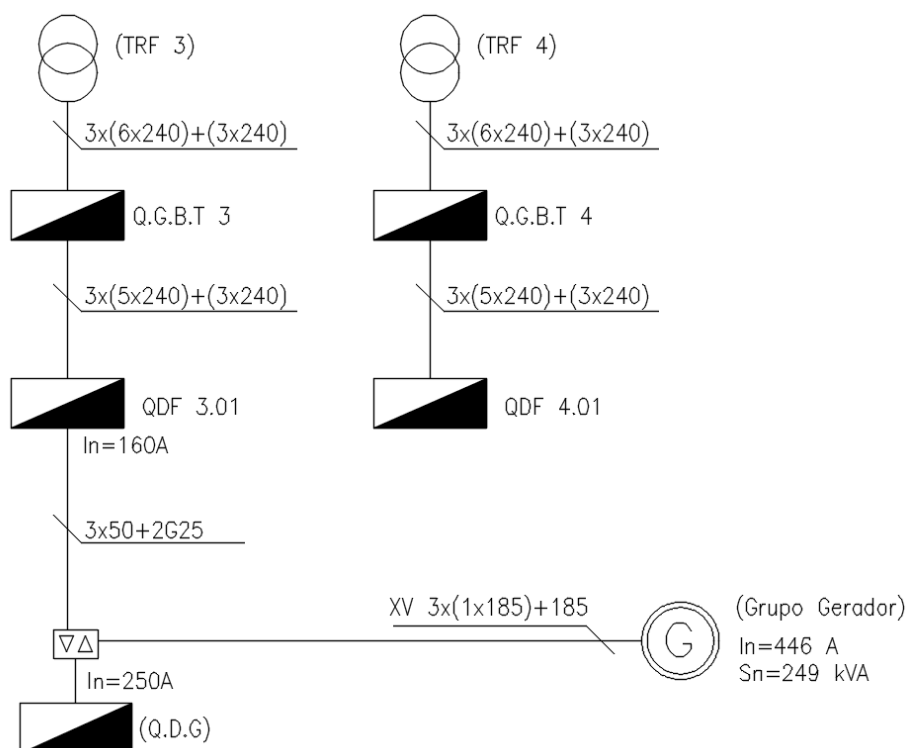


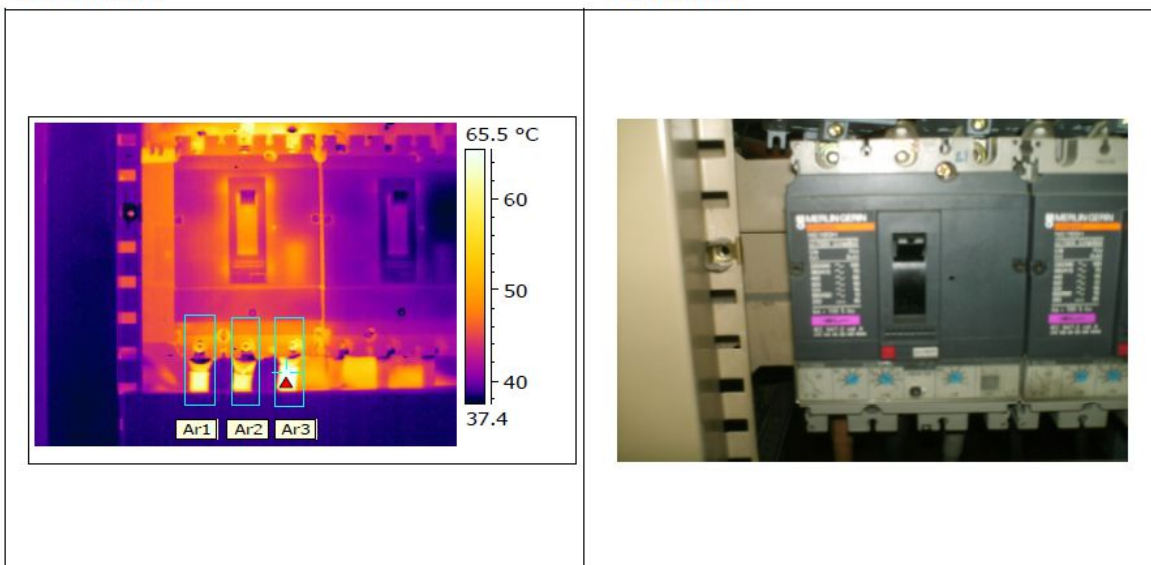
Figura 84 – Esquema unifilar da alimentação do quadro do grupo gerador

Devido à corrente nominal da ligação entre o QDF 3.01 e o QDG estar limitada a 160A não se pode rentabilizar a totalidade da capacidade do grupo gerador que possui uma corrente nominal de 446A.

A corrente absorvida pelos circuitos alimentados pelo quadro de distribuição do grupo gerador (QDG) é muitas vezes superior aos 160A nominais da sua alimentação. As cargas que este alimenta são de natureza muito variável e inconstante, havendo grande desequilíbrio entre fases visto que são alimentados vários circuitos monofásicos.

Esta situação leva a frequentes disparos por sobrecarga do disjuntor de 160A situado no QDF3.01 levando ao acionamento do grupo gerador, que implica gastos extra com combustível, assim como os inconvenientes e riscos de segurança causados pelo corte de alimentação dos circuitos por ele alimentados. Com recurso à camara termográfica foi possível registar temperaturas superiores a 70°C nos condutores à saída do disjuntor o que mais uma vez demonstra as condições de sobrecarga a que estes condutores são sujeitos frequentemente, tal como se pode verificar na Figura 85.



**TERMOGRAMA****FOTOGRAFIA****TEMPERATURAS**

Ponto	Descrição	Temperatura	Estado
Ar1	Fase R, saída, do Disjuntor "Q. Grupo Supressor".	62.5 °C	
Ar2	Fase S, saída, do Disjuntor "Q. Grupo Supressor".	61.9 °C	
Ar3	Fase T, saída, do Disjuntor "Q. Grupo Supressor".	70.7 °C	

Figura 85 – Análise termográfica ao disjuntor

Além das cargas existentes já usarem a capacidade total da alimentação, está previsto no futuro acrescentarem-se novas cargas ao grupo gerador, tal como a alimentação da Estação de Tratamento de Águas (ETA) e os restantes circuitos de iluminação que ainda não possuem alimentação socorrida.

De forma a aumentar a capacidade do QDG quando em funcionamento normal e assim evitar novos disparos por sobrecarga e consequentemente evitar os riscos e custos associados ao mesmo, foi proposta uma nova solução para a alimentação do mesmo.

#### 3.3.4.1 Solução proposta para nova alimentação do Quadro Geral do Grupo Gerador

Uma solução com vista a melhorar este problema passa por aumentar a secção do cabo e a corrente nominal do disjuntor de alimentação.

Para o efeito pode ser utilizada uma reserva equipada no QDF 4.01 de 1250A regulável de 0,4 a 1n. Esta reserva é alimentada pelo QGBT 4, ou seja, implica a mudança das cargas socorridas do QGBT 3 para o QGBT 4.

Efetuando uma análise às cargas típicas destes quadros verifica-se que a alteração é benéfica em termos de equilíbrio das cargas entre os dois assim como a temperatura dos



transformadores que os alimentam, que são bastante elevadas tendo em conta que o posto de transformação onde se encontram já possui sistema de insuflação e extração de ar.

A Tabela 15 mostra uma comparação entre a distribuição da temperatura dos enrolamentos dos transformadores que alimentam o QGBT 3 e QGBT 5.

	<b>QGBT 3</b>	<b>QGBT 4</b>
<b>Corrente (A)</b>	1480	920
<b>Temperatura dos enrolamentos (°C)</b>	108 – 102 – 99	79 – 98 – 93

Tabela 15 – Distribuição da temperatura entre as fases dos transformadores

O disjuntor de reserva a utilizar, corrente nominal de 1250A regulável de  $0,4 \times I_n$  a  $I_n$ , deverá ser regulado para a sua regulação mínima,  $0,4 \times I_n = 500A$ .

Uma vez que as cargas que este quadro alimenta são na sua grande maioria cargas monofásicas, existe um grande desequilíbrio de corrente entre as fases. Além disso, são alimentados vários circuitos de iluminação que utilizam tecnologia Led, e muitos outros circuitos de iluminação que no futuro também irão ser substituídos por tecnologia Led, o que significa um aumento no número de cargas não lineares a alimentar. Por este motivo o condutor PEN terá a mesma secção que os condutores de fase.

Para uma corrente nominal de 500A surgiram duas hipóteses possíveis com correntes admissíveis bastante equivalentes.

- XV 3(1x240)+1(1x240)mm<sup>2</sup>;
- XV 3(2x95)+1(2x95)mm<sup>2</sup>.

A Figura 86 demonstra o percurso entre o QDF4.01 e o QDG. A distancia em caminho de cabos entre o quadro de distribuição do PT2 e o quadro do grupo gerador é de aproximadamente 100 metros.

Isso significa que na solução com um cabo de 240mm<sup>2</sup> por fase seriam necessários 400 metros de cabo, enquanto que na solução com dois cabos em paralelo de 95mm<sup>2</sup> por fase seriam necessários 800 metros de cabo.

A Figura 86 ilustra o percurso entre o quadro de distribuição QDF 4.01 e o quadro geral do grupo gerador.

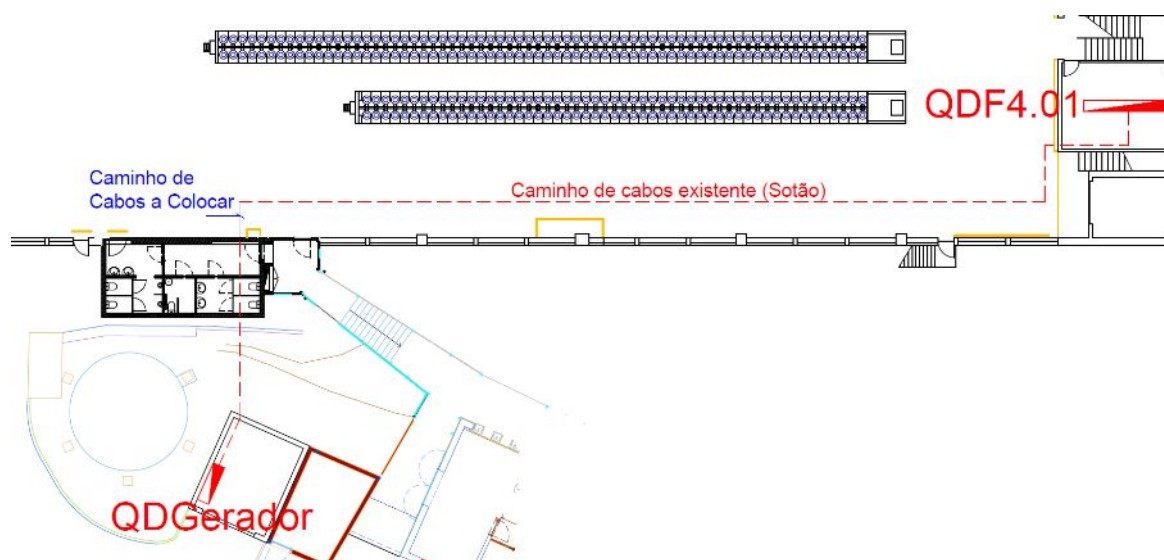


Figura 86 – Percurso entre o QDF 4.01 e o QDG

Após uma primeira análise ao mercado verificou-se que do ponto de vista económico a solução com dois cabos de  $95\text{mm}^2$  por fase é mais vantajosa apesar de ser necessário o dobro do comprimento de cabo.

Do ponto de vista de implementação prática, esta solução também é mais vantajosa uma vez que o cabo de menor secção é mais maleável facilitando a passagem nas galerias e caminhos de cabos.

O aumento da secção útil de  $50\text{mm}^2$  para  $2 \times 95\text{mm}^2$  leva ainda a uma diminuição das quedas de tensão nos circuitos a jusante do QDG assim como uma diminuição da impedância da malha de defeito e consequentemente a menores perdas por efeito de Joule.

A corrente nominal do inversor situado no QDG é de 250A. Isto significa que apesar da nova solução permitir uma corrente nominal até 500A o sistema continuará limitado a 250A, não permitindo usar toda a capacidade do grupo gerador.

Por este ponto de vista um cabo de secção menor seria suficiente para os 250A, contudo tendo em conta que está previsto se adicionarem mais cargas aos circuitos socorridos no futuro, uma intervenção à alimentação do QDG limitada a 250A seria temporária.

A Figura 87 mostra a folha de dimensionamento da alimentação do QDG com a nova solução de 2 cabos de  $95\text{mm}^2$  em paralelo por fase.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transformador QGBT 4		1600	20	2309,4	2500	5	XV 3(6x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3642	3168,5	0,67%	17103	26266	OK	Ok
QGBT 4	QDF 4.01	1500	55	2165,1	2200	6	XV 3(5x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2270,8	2,45%	13648	23862	OK	Ok
QDF 4.01	Q.D.Gerador	100	100	144,3	500	5,5	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	513,4	2,94%	5705	12963	OK	Ok

Figura 87 – Folha de dimensionamento da nova alimentação do quadro do grupo gerador

A solução proposta tem uma corrente admissível de 513A, já com os fatores de depreciação aplicados, o que permite usar toda a capacidade do Gerador de forma bastante folgada sendo apenas necessário, aquando do aumento das cargas, efetuar a alteração da corrente nominal do inversor.

A figura Figura 88 demonstra o esquema unifilar da alteração da alimentação do QDG.

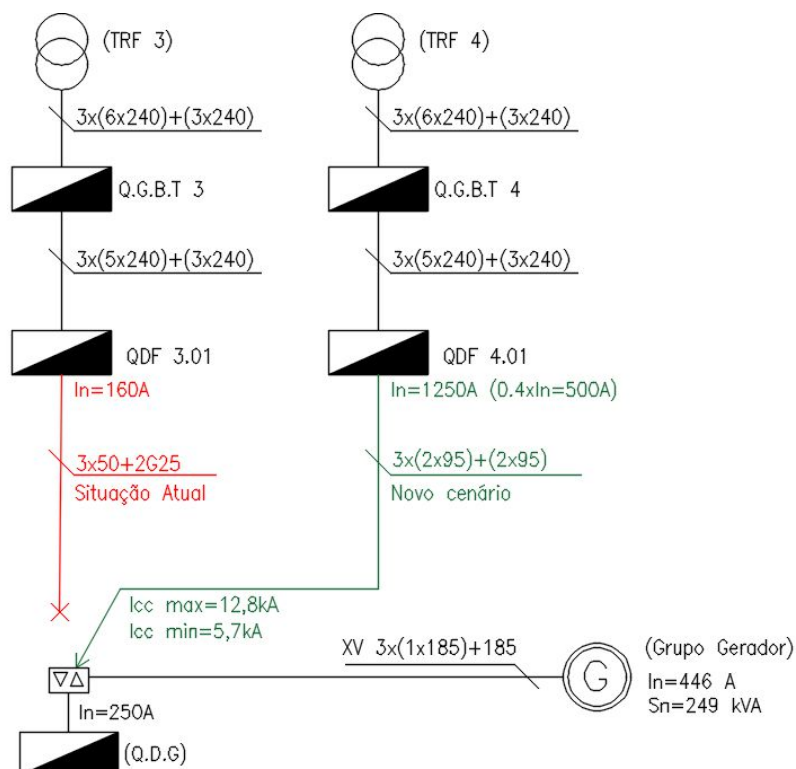


Figura 88 – Esquema unifilar da alimentação do QDG

Para o efeito foi desenvolvido um caderno de encargos para a nova a alimentação do QDG onde se fez uma consulta do mercado a várias empresas de forma a escolher a proposta mais vantajosa.

O trabalho foi executado em duas fases, numa primeira fase foi apenas efetuada a passagem da cablagem entre o quadro de distribuição e o quadro do gerador mantendo em serviço o cabo existente, tendo apenas sido feita a ligação ao disjuntor no QDF 4.01 uma vez que não implica o corte de alimentação.

Todo o percurso é feito através de caminho de cabos que circula em quase toda a totalidade no sótão de um salão de produção. Apenas numa pequena travessia não existia caminho de cabos pelo que foi incluído no trabalho o fornecimento e instalação do pequeno troço em falta, como demonstrado na Figura 89.



Figura 89 – Trabalhos de instalação de caminho de cabos e passagem de cabos

Numa segunda fase, efetuada numa das paragens programadas da fábrica, foi retirado o cabo existente e efetuada a ligação da nova cablagem ao disjuntor no QDG, como demonstrado na Figura 90.



Figura 90 – Passagem da nova cablagem de alimentação do QDG

### **3.3.4.2 Proteção dos circuitos alimentados pelo grupo gerador**

A alimentação do Quadro Geral do Grupo Gerador é feita em TN-C, contudo, todas as suas saídas são feitas com separação entre os condutores de neutro e de proteção elétrica, ou seja, segundo o esquema de ligação à terra do tipo TN-C-S.

Todas as saídas são protegidas apenas por dispositivo de proteção contra sobreintensidades, não existindo proteção diferencial em nenhuma saída deste quadro.

Este quadro apenas alimenta quadros parciais, e esses sim, protegem os circuitos terminais com dispositivos diferenciais, contudo a distribuição entre quadros parciais é apenas garantida com a utilização dos referidos disjuntores existentes no QDG.

Seguindo as regras do esquema de ligação à terra do tipo TN a proteção contra contactos indiretos é dependente do valor das correntes de curto circuito sendo necessário garantir a atuação das proteções para todas as alimentações possíveis dos circuitos. Neste caso, é necessário garantir as condições não só para o funcionamento normal, através do transformador, mas também para as situações pontuais em que o grupo gerador estará em funcionamento. O problema põe-se no facto da impedância interna no grupo gerador ser muito superior àquela que se encontra num transformador de distribuição e por consequência, a corrente de curto circuito que o grupo gerador terá capacidade de gerar será muito inferior.

A Figura 91 mostra a lista dos circuitos que constituem o quadro geral de distribuição do grupo gerador, assim como dois quadros parciais de distribuição a jusante. Uma grande parte dos circuitos não estão devidamente protegidos uma vez que a corrente de curto circuito a ser gerada, nas condições de corrente de curto circuito mínima, não é suficiente para atuar o dispositivo de proteção num tempo inferior a 0,4 segundos.



Descrição	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (kVA)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	I <sup>2</sup> z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx. trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<Im<Iz
Q.Gerador	Gerador	QDG 3.01.02	150	6	216,51	250	5	3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	499,8	0,04%	1824,9	2658	210,2	OK	Ok
Q. dentro PT2	QDG 3.01.02	QE85	70	50	101,04	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127,0	0,97%	911,7	1908	15,4	NOK	Ok
UPS PT1	QDG 3.01.02	QE76	30	120	43,30	63	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127,0	1,00%	536,12	1367	44,5	NOK	Ok
Furo Artesiano n#2	QDG 3.01.02	Furo 2	10	30	14,43	25	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42,0	0,51%	464,16	1074	1,5	OK	Ok
Iluminação	QDG 3.01.02	QE002	25	55	36,08	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75,0	0,92%	579,36	1277	6,1	NOK	Ok
Armazem Material Incendi	QDG 3.01.02	Armazem Incendi	8	20	11,55	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32,0	0,44%	442,18	1033	0,7	OK	Ok
Hidropressor Incendio	QDG 3.01.02	Q.Hidrop.Incendi	55	10	79,39	125	10	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	158,0	0,15%	1549,2	2517	10,4	OK	Ok
Cantina	QDG 3.01.02	Cantina	70	40	101,04	160	10	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	192,0	0,44%	1242,2	2297	33,1	NOK	Ok
Ventilação PT2	QE85	Vent PT2	30	25	43,30	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75,0	1,45%	612,62	1410	5,4	NOK	Ok
Alimentação ETA	QE85	ETA	30	70	43,30	63	5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100,0	1,82%	491,66	1179	21,7	OK	Ok
Armz. Materias Primas	QE85	QE26	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100,0	1,59%	434,46	1063	27,7	OK	Ok
Armz. Produtos Acabados	QE85	QE24	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100,0	1,59%	434,46	1063	27,7	OK	Ok
Quadro dentro PT3	QE85	QE82	50	120	72,17	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127,0	2,55%	414,23	1137	74,5	NOK	Ok
Quadro atrás QGBT 1	QE85	QE 68	10	120	14,43	60	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75,0	1,73%	272,69	708	27,5	NOK	Ok
Iluminação e Aux.	QE82	Subestação	10	140	14,43	63	10	5G6	Multipolar	S/ESP	D	63,4	4,02%	134,92	384	40,4	NOK	Ok
Piso 2 Estufa 1	QE82	Q. Ilumin Zell	15	40	21,65	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	68,3	2,93%	305,73	851	21,9	NOK	Ok
Ilumin. Oficina Zell	QE82	QE15	10	30	14,43	63	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	54,0	2,87%	286,94	800	8,9	NOK	NOK
Q. Iluminação PT4	QE82	QE Ilumin PT4	5	45	7,22	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32,0	3,11%	159,5	452	5,0	NOK	Ok
Q. Iluminação Single End	QE82	QE 14	15	45	21,65	40	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42,0	3,61%	207,31	584	7,6	NOK	Ok

Figura 91 – Tabela de dimensionamento quando em funcionamento através do gerador

### 3.3.4.3 Sugestão para novo Quadro de Distribuição do QDG

Visto que se trata de um quadro elétrico bastante antigo com muitos anos de funcionamento, e uma vez que este não garante a proteção de pessoas devido à falta de dispositivos diferenciais foi proposto um novo quadro.

A unidade fabril da Continental - Indústria Têxtil do Ave labora 24 horas por dia, 7 dias por semana, sendo muito raras as paragens ao longo do ano. Por este motivo, a substituição do Quadro Geral de Distribuição do Gerador tem que ser efetuada numa das poucas paragens efetuadas no decorrer do ano, sendo impossível efetuar a mesma no período previsto para este estágio.

O novo quadro deverá ter uma corrente nominal superior à capacidade do gerador de modo a garantir que o mesmo pode ser utilizado em toda a sua capacidade e todas as saídas devem estar munidas de proteção diferencial. Como se pode verificar na Figura 92 a corrente de curto circuito máxima passível de ocorrer no QDG é de 13kA pelo que o poder de corte a adotar para as proteções deverá ser de pelo menos 15kA.

Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	I <sup>2</sup> z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
Transformador QGBT 4		1600	20	2309,4	2500	5	XV 3(6x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3168,5	0,67%	17403	26427	140,002	OK	Ok
QGBT 4	QDF 4.01	1500	55	2165,1	2200	6	XV 3(5x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	2270,8	2,45%	14429	24445	141,430	OK	Ok
QDF 4.01	Q.D.Gerador	100	100	144,3	500	5,5	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	597,0	2,94%	5838	13133	21,662	OK	Ok

Figura 92 – Verificação das condições de dimensionamento da alimentação do QDG

Visto não ser possível efetuar esta intervenção no período deste estágio a Figura 93 demonstra, apenas em forma de sugestão, o esquema do que poderá ser o novo quadro de distribuição do grupo gerador.

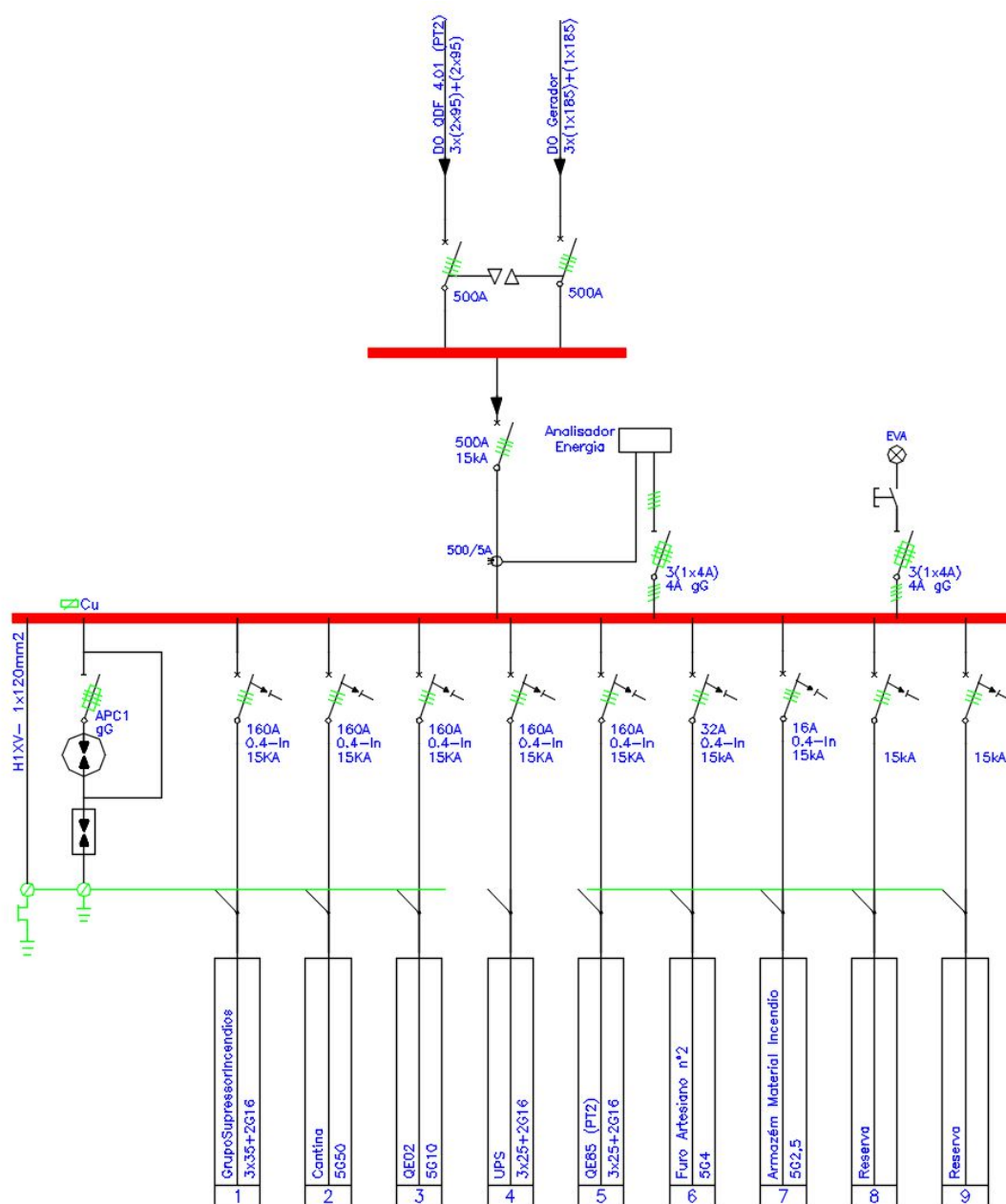


Figura 93 – Sugestão para o novo QDG a implementar no futuro

### **3.3.5 Análise de gases dissolvidos no óleo do transformador**

No Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS), são apresentadas várias recomendações de forma a manter os Postos de Transformação em boas condições de exploração.

Um dos aspetos referidos nas recomendações de conservação de transformadores a óleo é precisamente efetuar a análise da acidez e rigidez dielétrica do óleo dos transformadores. O óleo isolante dos transformadores desempenha uma função de extrema importância, não só no isolamento, mas também no arrefecimento das partes ativas. O aumento da acidez do óleo pode levar a problemas de corrosão e a diminuição da rigidez dielétrica do óleo pode levar ao surgimento de arcos elétricos no interior do transformador podendo levar à sua destruição.

Apesar de não haver obrigatoriedade normativa, deve também ser feita a análise aos gases dissolvidos no óleo dos transformadores. Em funcionamento normal existe uma degradação das propriedades do óleo, que pode ser bastante acelerada quando o transformador é submetido a sobrecargas, ou é percorrido por correntes harmónicas, levando a que o óleo gere gases a uma taxa muito superior ao normal.

Certos gases são gerados quando o óleo atinge determinadas temperaturas, pelo que a análise aos gases dissolvidos permite detetar problemas térmicos, e que níveis de temperatura os enrolamentos do transformador podem ter atingindo.

Quando a temperatura de funcionamento de um transformador atinge valores elevados, as características de isolamento deterioram-se rapidamente, encurtando drasticamente a vida útil do transformador. Um transformador durante a sua utilização não funciona sempre à mesma temperatura podendo atingir temperaturas baixas ou valores de sobrecarga. Contudo, o tempo de vida útil do transformador não se determina a partir de valores médios de temperatura, uma vez que o processo de envelhecimento do transformador não é reversível, ou seja, se um isolamento é sujeito a elevadas temperaturas, nem que por pequenos períodos de tempo, estes não recuperam mesmo que em seguida passem longos períodos num regime de funcionamento com temperaturas mais baixas. Deste modo é importante garantir que o transformador nunca funcione a elevadas temperaturas, mesmo que dentro dos seus valores permissíveis, de modo a maximizar a sua fiabilidade e o seu tempo de vida útil.



Na Figura 94 pode ser vista a equipa técnica a recolher uma amostra de óleo do transformador para efetuar análise.

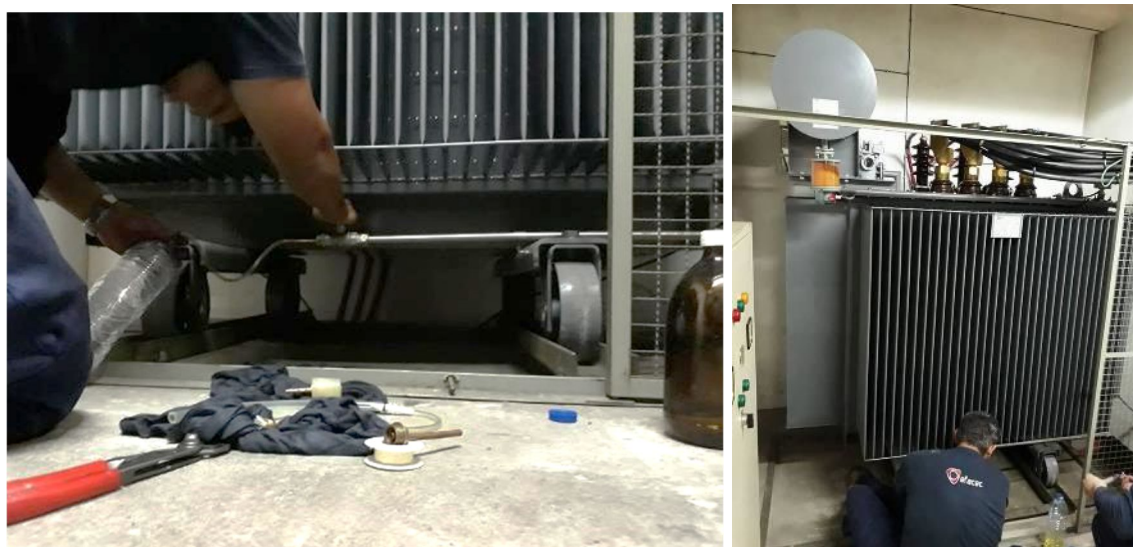


Figura 94 – Recolha de óleo para análise

O transformador a óleo do PT3 de 2000MVA tem apresentado valores crescentes de Etano, que indicam a ocorrência de defeitos térmicos no seu interior a temperaturas até 150°C.

A Figura 95 demonstra a evolução do nível de etano no óleo do transformador desde Maio de 2014 até Fevereiro de 2017.

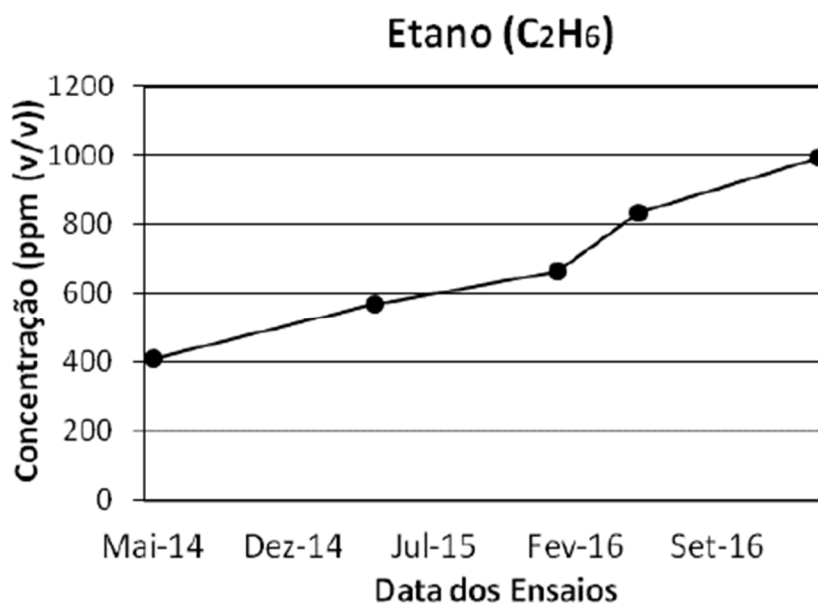


Figura 95 – Evolução da concentração de Etano no óleo do transformador até Feb-17

A Norma IEEE C57.104-2008 indica os limites de concentração para cada tipo de gás que podem ser verificados na Figura 96.

Dissolved gas concentration limit (ppm)								Interpretation
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	Methane (CH <sub>4</sub> )	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Carbon monoxide (CO)	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	TDCG (*)	
100	120	1	50	65	350	2500	720	Satisfactory
101 - 700	121 - 400	2 - 9	51 - 100	66 - 100	351 - 570	2500 - 4000	721 - 1920	Fault may be present
701 - 1800	401 - 1000	10 - 35	101 - 200	101 - 150	571 - 1400	4001 - 10000	1921 - 4630	Fault probably present
>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630	Continued operation could result in failure

(\*) TDCG = Total dissolved combustible gas

Figura 96 – Valores limite para a concentração de gás dissolvido no óleo [14]

Através da tabela de interpretação obtemos a indicação de que o valor máximo em que a operação continuada pode resultar em falha do transformador é de 150 ppm. Este resultado é alarmante tendo em conta que os níveis de Etano que as análises indicam é de 1000ppm, além de que o transformador está situado numa zona crítica da unidade fabril em que a sua falha representa uma paragem a 100% da produção além do risco de incêndio que esta situação representa.

A carga deste transformador é relativamente constante usando apenas 30% da sua capacidade, o que afasta a hipótese de sobrecarga como causa dos crescentes níveis de Etano.

O termómetro do transformador tem um registo máximo de temperatura de cerca de 70°C o que confirma que o transformador não esteve sujeito a elevadas temperaturas.

Os standards da Continental recomendam a substituição de todos os transformadores a óleo por transformadores secos, sendo o principal motivo a questão de segurança em termos de risco de incêndio. Por este motivo foi considerada a aquisição de um novo transformador seco para substituir o transformador a óleo devido aos problemas detetados na análise aos gases dissolvidos no óleo do transformador.

Foi desenvolvido um caderno de encargos para a aquisição de um novo transformador com os seguintes requisitos:

- Fornecimento e instalação de transformador seco com as seguintes características:

- i. De acordo com as normas CEI e requisitos de conceção ecológica (EcoDesign)
  - ii. Potência de 2000kVA
  - iii. 15kV $\pm$  5% / 0.42V
  - iv. Grupo de ligação Dyn5
  - v. Equipado com sistema de proteção composto por sondas térmicas do tipo PT100 com contactos para alarme e disparo.
- Remoção do transformador existente e colocação em local a definir
  - Criação de um barramento intermédio para ligação dos cabos de baixa tensão ao transformador;
  - Realocação dos cabos para o novo transformador;
  - Vedação metálica para delimitar o transformador;

Como referido anteriormente, o posto de transformação em questão alimenta cargas fundamentais para o processo produtivo, pelo que a sua paragem e substituição teria que ser forçosamente num dia de paragem pré estipulado. Devido a esta restrição o principal ponto de eliminação e seleção da proposta a adjudicar foi o prazo de entrega do novo transformador de forma a garantir a sua instalação na próxima paragem programada.

Nenhuma das empresas que responderam ao pedido de cotação garantiam um prazo de entrega suficientemente curto para garantir a instalação do transformador no dia da paragem programada.

De forma a mitigar riscos, e tendo em conta que a aquisição de um novo transformador não era viável em tempo útil, o transformador existente foi levado para a fábrica para diagnóstico e apreciação.

Para o substituir durante esse período foi colocado ao serviço no PT3 o transformador Siemens de 1600 kVA que alimentava o QGBT 1. Por sua vez, para alimentar o QGBT 1 foi colocado ao serviço o transformador de reserva do PT1 de 1250 kVA.

Na fábrica o transformador foi desmontado e foi feita uma apreciação do transformador de modo a verificar possíveis causas para o problema.

A Figura 97 mostra o transformador desmontado na fábrica para apreciação.



Figura 97 – Transformador desmontado para apreciação nas instalações do fabricante

À data deste relatório o transformador continua sobre apreciação nas instalações da EFACEC não existindo causa aparente para o defeito pelo que serão realizados novos ensaios para determinação do problema.

### 3.3.6 Monitorização de consumos de energia

A Continental – Indústria Têxtil do Ave possui uma rede de monitorização de consumos de energia.

O consumo de energia elétrica é monitorizado através de analisadores de energia, como ilustra a Figura 98, colocados na maior parte das máquinas produtivas e quadros de distribuição de forma a determinar os consumos específicos por tipo de máquina produtiva.

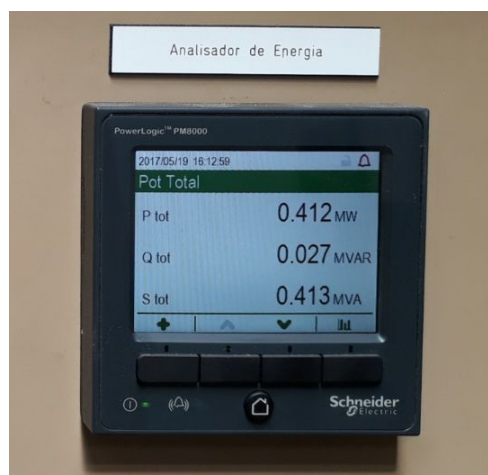


Figura 98 – Analisador de Energia instalado num quadro de distribuição

Além dos consumos de energia, nos analisadores podem se monitorizar vários parâmetros relacionados com a qualidade de energia funcionando como uma excelente ferramenta de diagnostico. Os analisadores de energia estão ligados em rede sendo utilizado um software para tratamento de dados e monitorização dos consumos e parâmetros de qualidade de energia dos vários analisadores.

A Figura 99 ilustra o sistema de monitorização que recebe os dados de todos os analisadores de energia ligados em rede de forma a monitorizar remotamente o estado da instalação elétrica.



Figura 99 – Sistema de monitorização de consumos energéticos e qualidade de energia

### 3.3.6.1 Separação de Custos Fixos e Custos Variáveis

A Continental possui um sistema de monitorização de consumos ao qual as várias máquinas produtivas estão integradas, contudo existem alguns sectores da instalação elétrica que não estão contemplados de forma independente.

Os custos de funcionamento de uma empresa podem ser separados em custos fixos e custos variáveis.

Custos fixos podem-se definir como aqueles que não sofrem alterações influenciadas pelo volume de produção. Apesar do nome não se pode afirmar que estes custos não estão sujeitos a modificação.

Os custos variáveis, por sua vez, são aqueles que estão diretamente ligados à produção, e portanto, estão sujeitos a maior variação. Exemplo disso são as matérias primas, quanto maior o volume de produção, maior serão os gastos com matérias primas. Mesmo que o volume de produção permaneça constante por tempo indeterminado, nunca se associa este tipo de custo a um custo fixo porque não deixa de estar ligado à produção.

A energia elétrica pode-se dividir pelos dois tipos de custos, sendo que existe a parte variável, que diz respeito à energia consumida pela produção, mas também há a parte fixa, relacionada com a parte administrativa da empresa que irá funcionar independentemente do volume de produção da fábrica.

Na Continental - Industria Têxtil do Ave, S.A, os custos fixos com eletricidade passam por:

- Quadro dos gabinetes de engenharia;
- Quadro dos escritórios administrativos;
- Laboratório R&D;
- Q. Vestiários;
- Cargas alimentadas pela UPS;
- Cantina.

De forma a contabilizar a totalidade dos custos fixos é necessário adicionar um contador de energia aos circuitos que ainda não o possuem. Grande parte das cargas elétricas que se podem considerar como custos fixos são alimentadas a partir do QGBT 1. Para contabilizar estes consumos de energia é necessário colocar um contador de energia para estas saídas.

A UPS possui um analisador geral *Schneider* PM5110 que contabiliza toda a energia consumida pelas suas cargas. O mesmo acontece com a alimentação da cantina, que é alimentada através do quadro geral de distribuição do gerador e possui um analisador ION7330 já ligado em rede.

Os únicos circuitos considerados como custos fixos que não estão a ser contabilizados de forma independente são aqueles que são alimentados a partir do QGBT 1.

Tendo todos os circuitos que alimentam cargas consideradas como custos fixos com analisadores de energia ligados em rede, pode-se totalizar os custos fixos através da ferramenta de monitorização *Power Management Expert* (PME) da *Schneider* ou MESSDAS, ferramenta de monitorização desenvolvida especificamente para a Continental.

A solução ótima passa pelo agrupamento das saídas que alimentam cargas que se consideram como cargas fixas de forma a monitorizar a totalidade dos seus consumos.

Para o efeito podem ser criadas várias soluções.

O agrupamento destas cargas no QGBT 1 pode passar pela criação de um quadro parcial dentro da sala do PT1 e alimentado pelo QGBT 1 para alimentação das cargas consideradas como custos fixos. O quadro seria composto por um interruptor de corte geral, e disjuntores de saída para os restantes quadros parciais possuindo um analisador de energia geral.

Não haveria necessidade de proteção diferencial à cabeça do quadro uma vez que a proteção estará assegurada pelas condições do esquema de ligação à terra do tipo TN.

Uma solução mais simples, mas com o mesmo efeito, passaria por criar um sub barramento no interior do QGBT 1. O princípio seria o mesmo da solução anterior, contudo evitaria a necessidade de criar um novo quadro parcial, bastando usar um disjuntor de reserva existente para alimentar os disjuntores que alimentam as cargas consideradas como custos fixos.

Esta solução não é aconselhável uma vez que a alimentação de circuitos de baixa potência a partir de um QGBT implica a necessidade de munir as proteções de um elevado poder de corte aumentando o custo associado a esta solução.

Como referido anteriormente, eventualmente num futuro próximo a expansão da capacidade produtiva da unidade fabril vai levar a uma requalificação de parte da instalação elétrica no qual o QGBT 1 se enquadra, pelo que eventualmente será necessário um novo QGBT. Por este motivo não foi efetuada nenhuma intervenção no QGBT no âmbito da separação de custos fixos e custos variáveis.

### **3.3.7 Novos Sistemas de Correção de Fator de Potência**

Apesar de não existirem custos relacionados com consumo de energia reativa foi considerada a substituição de todos os quadros de correção de fator de potência existentes.

A instalação elétrica da unidade fabril tem vindo a sofrer vários problemas relacionados com qualidade de energia. Os quadros de correção de fator de potência constituídos por condensadores puros sem qualquer tipo de filtragem são um dos responsáveis por esta situação.

Mesmo em quadros equipados com filtragem harmónica existe registo de baterias a explodir por sobreaquecimento, como por exemplo o quadro de correção de fator de potência do QGBT 5. É um sistema de correção de fator de potencia de 300kVAr de 6 escalões físicos e 6 bobines de filtragem harmónica, contudo, devido às reduzidas dimensões do armário em que se encontra, foram constantes ao longo do tempo de vida do sistema os problemas de sobreaquecimento levando à destruição de algumas das baterias que o constituem.

Desligando um dos quadros de correção de fator de potência sem filtragem harmónica é possível verificar que a distorção harmónica da tensão baixa drasticamente.

Com recurso a um analisador de energia é possível determinar o impacto que as bateria de correção de fator de potência puras têm na qualidade de energia da instalação.

A Tabela 16 demonstra a diferença entre a distorção harmónica da tensão e corrente medida no QDF 2.01, com o sistema de correção de fator de potência (CFP) ligado e desligado.

	<b>CFP ligado</b>	<b>CFP desligado</b>
<b>Fator de Potência</b>	1.0	0.96
<b>THDU</b>	10%	6%
<b>THDI</b>	30%	8%

Tabela 16 – Diferença na distorção harmónica com o sistema de correção de fator de potência ligado e desligado

Apesar de praticamente não existirem custos relacionados com o consumo de energia reativa, foi aprovado pela Continental um investimento para substituir todos os quadros de correção de fator de potencia existentes por novos quadros sendo o principal motivo para esta decisão os problemas de qualidade de energia e a mitigação do risco que isso coloca a produção da unidade fabril, assim como o elevado risco de incendio causado pelo sobreaquecimento das baterias.

Para o efeito foi desenvolvido um caderno de encargos para consulta ao mercado para o fornecimento e instalação de 5 quadros de correção de fator de potência.

Para evitar problemas como os indicados anteriormente, foram consideradas algumas condições para o fornecimento.



Numa indústria como a Continental não faz sentido de efetuar uma análise ao consumo de energia reativa como será prática comum quando se efetua o dimensionamento de sistemas de correção de fator de potência pelo simples facto de que as mudanças de layout são tão frequentes que aquilo que é o consumo de energia reativa hoje num determinado quadro, poderá ser totalmente diferente alguns meses depois. Deste modo, todos os quadros terão que ser flexíveis e não feitos à medida das necessidades atuais. Por este motivo foi definida uma capacidade de 225kVAr para cada quadro, deixando reservas disponíveis para no futuro se poder adicionar mais escalões até completar 325kVAr.

Uma das primeiras condições foi relativa à capacidade de cada escalão físico. Quando um condensador entra ao serviço podem ser geradas tensões transitórias e picos de corrente que podem causar perturbações na instalação elétrica. De forma a evitar perturbações transitórias no momento em que um escalão físico entra ao serviço, foi definido um valor máximo de 50kVAr por escalão, tendo sido pedidos também escalões de menor capacidade para um ajuste mais fino:

- 1 x 20 kVAr;
- 1 x 25 kVAr;
- 1 x 30 kVAr;
- 3 x 50 kVAr.

A segunda condição pedida no referido caderno de encargos foi a definição de dimensões mínimas para o quadro. Grande parte dos quadros standard para este tipo de sistemas são bastante compactos, possivelmente para responder às necessidades de grande parte das indústrias que têm problemas de espaço para a instalação dos quadros, contudo, para melhorar a capacidade de dissipação de calor gerada pelas baterias, foi pedido um quadro com dimensões mínimas de 1800x1800x600; dimensões definidas através da experiência prática da Continental. Um quadro sobredimensionado em dimensão garante uma melhor dissipação de calor.

A Figura 100 mostra a diferença nas dimensões do armário existente e o novo sistema de correção de fator de potência com o mesmo número de escalões físicos.



Figura 100 – Comparação de tamanho entre quadro de CFP existente e novo quadro (com o mesmo número de escalões físicos)

Os standards da Continental exigem a instalação de baterias de condensadores sobredimensionadas em tensão. Devido à experiência da Continental com sistemas de correção de fator de potencia em instalações elétricas com elevada distorção harmónica nas inúmeras fábricas por todo o mundo, foi definido como standard a instalação de baterias com tensão nominal de 525V.

Todos os quadros fornecidos devem ser dotados de sistema de ventilação forçada que deverá dar um alarme de avaria ou sobreaquecimento através do controlador automático do sistema de correção de fator de potência.

Foi feita uma consulta ao mercado tendo sido feito pedido de cotação a várias empresas. Após a receção das propostas foi feita uma análise comparativa das propostas recebidas e respetiva adjudicação à proposta que melhor respondeu ao caderno de encargos desenvolvido encontrando-se atualmente em fase de execução de obra.

## **3.4 Manutenção e exploração de instalações elétricas**

### **3.4.1 Aspetos gerais**

Na legislação em vigor são definidas uma série de obrigações dos clientes no que diz respeito ao acompanhamento das suas instalações elétricas.

O artigo nº 102 do Regulamento da Rede de Distribuição, aprovado pela Portaria nº 596/2010 de 30 de Julho, refere que “As entidades com instalações ligadas à Rede Nacional de Distribuição (RND) ou às Redes de Distribuição de Baixa Tensão (RDBT) devem manter as suas instalações elétricas em bom estado de funcionamento e de conservação, de modo a não causarem perturbações ao bom funcionamento da RND ou das RDBT”.

Os equipamentos e componentes elétricos constituintes de uma instalação elétrica podem ver as suas características degradadas dependendo do tipo de ambiente onde estão instaladas, acidentes ou o simples desgaste natural dos equipamentos. Para o correto funcionamento da instalação elétrica e para garantir a segurança das pessoas todos os equipamentos devem ser sujeitos a um conjunto de intervenções ao longo da sua vida útil de modo a garantir a sua operacionalidade e segurança.

A manutenção preventiva é efetuada independentemente da condição técnica do equipamento ou instalação, sendo normalmente efetuada em intervalos de tempo pré-definidos ou mediante uma quantidade definida de horas de trabalho, ou número de operações. A manutenção preventiva não deve ser considerada uma tarefa secundária, o mau funcionamento de um componente pode colocar em risco toda a instalação e provocar elevados custos devido a paragens da produção da unidade fabril.

### **3.4.2 Manutenção preventiva anual**

Por este motivo a C-ITA elabora um caderno de encargos anualmente colocando a concurso a manutenção da Subestação e dos Postos de Transformação. As operações de manutenção são realizadas na paragem programada de 13 de julho, feriado municipal no conselho de Vila Nova de Famalicão.

A manutenção consiste num conjunto de ações de manutenção preventiva, passando pela análise da condição dos equipamentos. A manutenção preventiva na C-ITA é efetuada com

corte de corrente, sendo contactada a EDP para efetuar a abertura do seccionador na subestação a montante de forma a garantir que não existe potencial à chegada da subestação.

As ações de manutenção a efetuar aos Postos de Transformação contemplam:

1. Equipamentos de Média Tensão

- Limpeza geral do equipamento e controlo visual;
- Verificação dos apertos dos barramentos;
- Verificação dos mecanismos de manobra e lubrificação dos seccionadores;
- Ensaio à resistência de isolamento;
- Ensaio aos disjuntores MT;
- Ensaio à resistência de contato.

2. Transformadores

- Limpeza geral do equipamento e controlo visual;
- Verificação do estado dos cabos MT e BT e respetivos apertos;
- Ensaio da resistência de isolamento dos cabos MT e transformador.

3. Terra de serviço e proteção

- Verificação da existência de ligações à terra;
- Ensaio de medição da resistência óhmica dos elétrodos de terra.

4. Quadro Geral de Baixa Tensão

- Limpeza geral do equipamento e controlo visual;
- Verificação dos apertos dos barramentos;
- Lubrificação dos equipamentos;
- Ensaio à resistência de isolamento;
- Ensaio aos disjuntores BT;
- Ensaio mecânicos e elétricos;
- Verificação das unidades de controlo;
- Verificação do inversor de rede.

5. Bateria de condensadores

- Limpeza geral do equipamento e controlo das ligações;

- Medida das correntes e capacidade dos condensadores para estimar envelhecimento dos mesmos;
- Inspeção, teste funcional do relé varimétrico e a sua regulação.

A Figura 101 demonstra o disjuntor de MT aberto para realização de ensaio e a equipa de manutenção a realizar limpeza ao transformador.



Figura 101 – Ensaio ao disjuntor MT e limpeza do transformador

Na subestação as ações de manutenção devem incidir sobre:

#### 1. Parque Exterior

- 1 x Seccionador;
- 3 x TT's;
- 3 x TI's;
- 1 x Disjuntor AT;
- 1 x Transformador 6MVA 60/15kV;
- 6 x Descarregadores de sobretensão;
- 1 x Travessia do neutro do transformador;
- 1 x Pórtico e barramentos de saída dos cabos de 15kV do transformador;
- 6 x Ventiladores de arrefecimento da cuba do transformador;

#### 2. Subestação – Cabine

- 1 x Painele de comando e serviços auxiliares;

- 1 x Quadro 24 kV composto por duas celas: IS e DC;

### 3. Correções

- Correção da pintura do transformador nos pontos que demonstrem corrosão;
- Substituição dos vedantes e flanges dos radiadores de óleo;
- Desgaseificação do óleo da cuba do transformador.

Na Figura 102 pode-se ver a equipa de manutenção a intervir na subestação.



Figura 102 – Manutenção à subestação

#### 3.4.3 Medição da resistência de terra

Anualmente, aquando da manutenção preventiva da subestação, é efetuada a medição da resistência de terra.

A medição de resistência de terra é um procedimento crucial de forma a garantir que a instalação elétrica garante as suas condições de segurança. O correto funcionamento da instalação elétrica só pode ser garantido se existir uma boa ligação à terra.

A medição de terra foi efetuada pela EFACEC na subestação, utilizando o método dos 62%.

O Ligador Amovível de Terra da subestação é aberto para efetuar a medição e são colocados 2 elétrodo em linha reta. O elétrodo mais afastado deve estar a uma distancia superior a 80

metros do ligador amovível, e o eletrodo intermédio deve estar a uma distancia igual a 62% da distancia entre o ligador amovível e o eletrodo mais afastado.

A Figura 103 demonstra a localização dos eletrodos de terra para a medição da resistência de terra utilizando o método dos 62%.

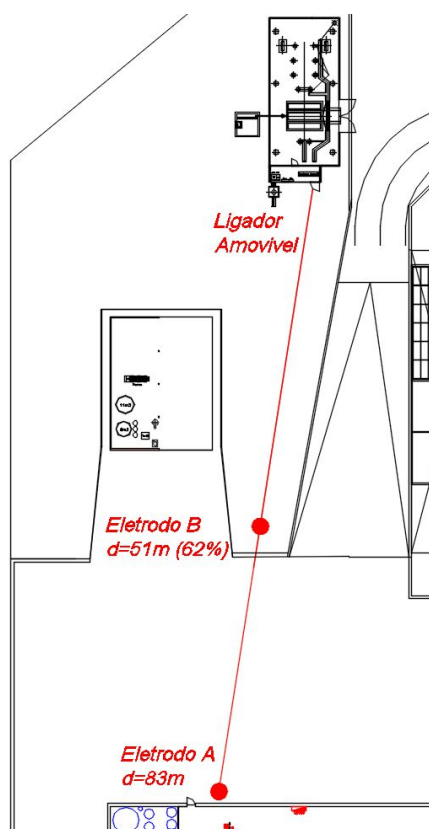


Figura 103 – Localização dos eletrodos para a medição da resistência de terra

Devido às restrições de espaço para efetuar medições em linha reta, este foi o método mais eficaz. Através do método dos 62% supra indicado, obteve-se um valor de resistência de terra de  $0,18\Omega$ .

A Figura 104 demonstra o valor obtido através do método dos 62% e que foi o valor considerado como oficial.





Figura 104 – Valor obtido através do método dos 62%

Também foi efetuado o método de medida sem estacas. Este permite efetuar a medição da resistência de terra da instalação sem desligar o circuito de terra e sem utilizar nenhuma estaca o que é um método ideal para locais sem acesso à terra.

Este método utiliza uma pinça de tensão que induz uma tensão no condutor de terra com uma determinada frequência de ensaio. A segunda pinça mede a corrente resultante obtendo-se assim a resistência de terra.

Através deste método obteve-se um valor de resistência de terra de  $0,20 \Omega$ , por excesso face ao valor obtido através do método dos 62%. A diferença de  $0,02 \Omega$  entre os valores obtidos em ambos os métodos pode ser atribuída à precisão dos equipamentos utilizados e que pode ser desprezada tendo em conta a proximidade entre os valores obtidos.

O valor da resistência de terra máximo para a instalação, visto se tratar de uma rede de terras única, é de  $1 \Omega$  pelo que o valor obtido através das medições está dentro dos valores permissíveis.

#### 3.4.4 Análise Termográfica

A termografia é um método comum para inspecionar instalações elétricas, mas também para identificar problemas de eficiência energética.



Uma câmara termográfica consegue determinar a temperatura através da radiação infravermelha naturalmente emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional à sua temperatura e que não é visível ao olho humano, convertendo esta informação numa imagem térmica.

Anualmente é feita uma análise termográfica aos equipamentos elétricos suscetíveis de apresentarem pontos quentes.

São alvo de análise todo o tipo de equipamentos elétricos, desde equipamentos de média tensão, constituintes dos quadros elétricos como barramentos e disjuntores assim como recetores finais.

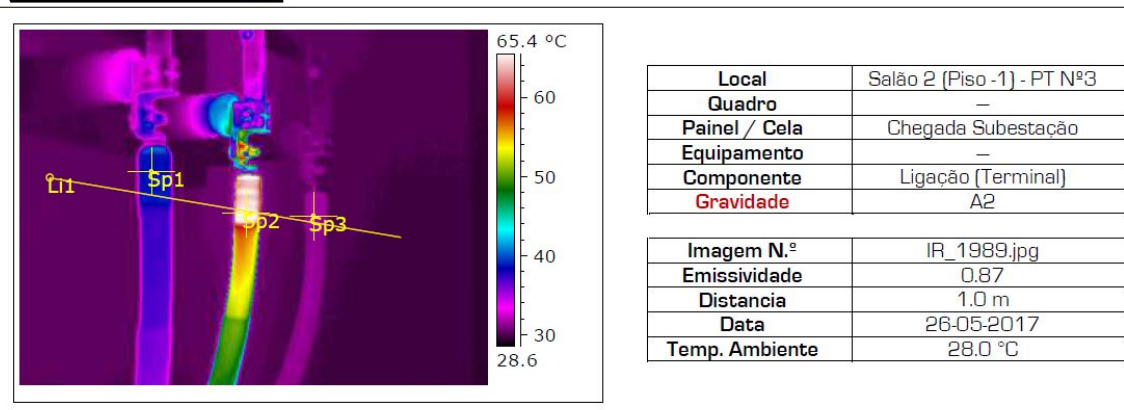
O objetivo é desenvolver ações de diagnóstico no domínio da manutenção condicionada detetando precocemente anomalias nos equipamentos de forma a planear ações corretivas necessárias minimizando assim o impacto negativo no processo produtivo.

A Figura 105 mostra um extrato de um relatório de termografia. O exemplo dado é relativo aos seccionadores de média tensão em que um dos terminais apresentava uma temperatura elevada.

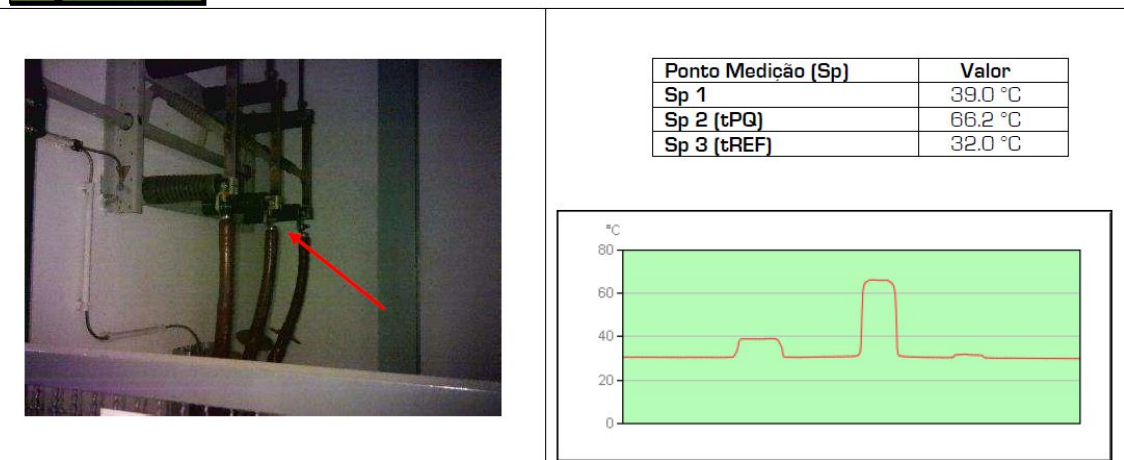
No relatório da análise termográfica é definida uma escala de gravidade das situações encontradas, de forma a definir qual a ordem das intervenções por nível de prioridade.

Para cada situação de risco detetada é dada uma recomendação para a sua resolução. O caso mais comum passa pela limpeza e reaperto dos terminais dos cabos elétricos.

#### Termograma e Identificação:



#### Fotografia e Análise:



#### Comentários e Ações Recomendadas:

Verificou-se temperatura elevada na ligação ao seccionador da cela de chegada da subestação acima identificado na foto (fase T).  
Recomendamos que seja feita beneficiação das referida ligação incluindo limpeza e desoxidação, verificação/ substituição dos terminais e respetivos reapertos.

Figura 105 – Extrato de relatório de termografia

## 3.5 Instalação de sistema fotovoltaico

### 3.5.1 Aspetos gerais

Devido ao elevado interesse da C-ITA na instalação de um sistema fotovoltaico na cobertura de um dos seus pavilhões foi efetuada uma análise tecno económica em relação à instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC).

### **3.5.2 Proteção de pessoas contra contactos indirectos**

A norma IEC 60364-712 estipula que os sistemas fotovoltaicos em que a tensão de circuito aberto seja superior a 120V DC deve usar duplo isolamento, ou isolamento reforçado, como meio de proteção contra contactos indirectos. Fusíveis e disjuntores do lado DC, não garantem proteção contra contactos indirectos não havendo corte automático da fonte de alimentação.

Proteção contra sobre intensidades, quando usado, protege as células fotovoltaicas contra corrente inversa os cabos contra sobre cargas. Conectar um polo DC à terra é puramente funcional e não protege contra contactos indirectos.

Duas particularidades de sistemas fotovoltaicos são o facto de gerarem elevados valores de tensão DC e o facto de estes não poderem ser desligados enquanto os módulos estiverem expostos ao sol, o que pode implicar situações de risco.

As correntes de curto-circuito geradas pelos sistemas fotovoltaicos são demasiado baixas para fazer disparar os sistemas de disparo automático o que faz com que os sistemas de proteção mais comuns não possam ser aplicados em sistemas fotovoltaicos.

### **3.5.3 Risco de incêndio num sistema fotovoltaico**

De um modo geral, há três situações que podem levar a elevadas temperaturas e risco de incendio num sistema fotovoltaico:

- Falha de isolamento;
- Corrente inversa num modulo DC;
- Sobre carga na cablagem ou equipamentos.

Isolamento duplo, ou reforçado, é uma medida protetiva contra contactos indirectos, mas não exclui completamente o risco de falha de isolamento, contudo a probabilidade de ocorrência de uma falha de isolamento e alguém tocar uma parte condutora em contacto com essa falha de isolamento na instalação é muito baixa.

Uma falha de isolamento em DC é considerada como sendo mais perigosa uma vez que o arco elétrico tem menos probabilidade de se auto extinguir como acontece em corrente alternada.

A garantia de isolamento do sistema fotovoltaico com a terra será diferente caso exista isolamento galvânico entre o lado AC e DC:

Quando não há isolamento galvânico entre o lado AC e DC

- Não é possível ligar um dos polos à terra;
- A proteção utilizada em AC pode ser usada para detetar falhas de isolamento.

Quando o lado AC e DC estão isolados galvanicamente

- Um dispositivo de proteção contra sobre intensidades, (que também deteta falhas de isolamento) deve ser usado para cortar o condutor ligado à terra no caso de se tratar de um sistema fotovoltaico que exija um dos condutores seja ligado diretamente à terra;
- Um sistema de monitorização de isolamento deve ser usado se o sistema fotovoltaico exigir que um dos condutores seja ligado à terra através de uma resistência;
- Um sistema de monitorização de isolamento também deve ser usado se o sistema fotovoltaico não exigir que nenhum dos condutores seja ligado à terra.

É importante ter atenção ao facto de que, quando uma falha de isolamento é detetada, independentemente da solução usada, o inversor é desligado e desconectado da rede do lado AC, mas o defeito continua presente no lado DC sendo a tensão entre o polo positivo e negativo a tensão de circuito aberto do sistema fotovoltaico enquanto o sol estiver a incidir nos painéis. Esta situação não pode ser admitida por longos períodos de tempo devendo a falha de isolamento ser encontrada e eliminada. Caso contrário, uma segunda falha de isolamento pode acontecer no outro polo levando à circulação de corrente nos condutores de proteção e por consequência em todas as partes metálicas da instalação não havendo garantia de atuação dos dispositivos de proteção.

### **3.5.4 Propostas para sistema de produção fotovoltaica para autoconsumo**

No sentido de estudar a viabilidade de instalação de um sistema de produção fotovoltaica nas instalações da empresa, foram solicitados propostas para a sua instalação.

A cobertura em questão que a C-ITA tem disponível para a implementação do sistema fotovoltaico permite, segundo várias propostas recebidas, instalação de um sistema fotovoltaico com uma potência instalada ligeiramente superior a 500 kW pico.

A potencia instalada máxima permitida que não implica a obtenção de uma licença de micro produtor de energia elétrica, é de 1 MW, pelo que o fator limitador será a área disponível para instalação de painéis.

A cobertura disponibilizada para a instalação dos painéis é composta por várias águas com inclinação de cerca de 29° e orientação a sul, que são favoráveis à produção fotovoltaica, simplificando assim a implementação do sistema.

A Figura 106 ilustra a implementação do sistema fotovoltaico na cobertura do edificio onde está prevista a implementação do sistema fotovoltaico.



Figura 106 – Implementação do sistema fotovoltaico na cobertura aproveitando a inclinação e orientação existente

Para estes níveis de potência os painéis fotovoltaicos são separados em vários grupos, sendo cada grupo constituído por várias *strings* em paralelo, que irão ligar ao inversor.

A separação do sistema em vários inversores é vantajosa em caso de avaria, porque a avaria

A Figura 107 demonstra a constituição básica de um sistema fotovoltaico.

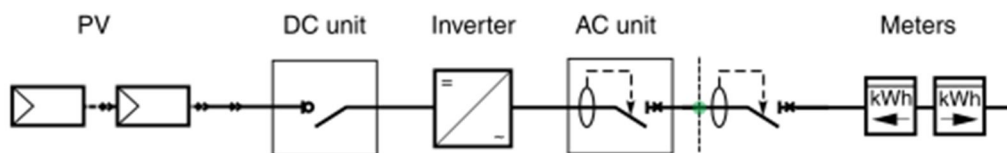


Figura 107 – Constituição de um sistema fotovoltaico [15]

Analisando o diagrama de cargas do QGBT escolhido verifica-se que o mesmo apresenta uma potência absorvida bastante elevada, na ordem dos 1000kW, e muito estável durante todo o ano, à exceção dos dias de paragem anual, que são muito pontuais, e coincidem com os dias de manutenção preventiva, o que implica o corte de energia na fábrica, pelo que o sistema fotovoltaico não teria como injetar a produção na rede.

De forma a minimizar os custos de implementação, o conceito do sistema fotovoltaico será alimentar apenas um QGBT, não colocando a hipótese de injeção do excedente de produção na rede MT.

O sistema fotovoltaico pode ser ligado diretamente ao QGBT através de um disjuntor. Para garantir que a produção fotovoltaica seja sempre superior às necessidades de consumo, o sistema fotovoltaico deverá ser desligado da restante instalação elétrica. Esse fim pode ser obtido através dos próprios inversores do sistema.

Devido a regras internas da Continental não foi permitida a partilha das faturas de energia com as empresas que responderam ao pedido de cotação para o sistema fotovoltaico para autoconsumo, o que levou à necessidade de analisar com detalhe a rentabilidade das propostas apresentadas assim como um contacto muito ativo com as empresas concorrentes.

A metodologia passou por requisitar as produções fotovoltaicas por período horário previstas para cada mês do ano. Cruzando os dados com os valores reais de eletricidade foi possível determinar qual o valor em euros evitado da rede elétrica.

Sem detrimento dos restantes períodos horários, o preço da energia no período de horas de ponta é aquele que se deve tomar atenção extra na análise de um sistema de produção fotovoltaica para autoconsumo.

O preço da energia nas horas de ponta, além das componentes de mercado (OMIP e OMIE) e das tarifas reguladas, é composto por uma componente adicional denominada por

“Potência de Horas de Ponta – PHP”. O valor desta componente é definido pela ERSE e em 2016 foi 115,8 MWh.dia.

Esta depende da potência ativa média em horas de ponta durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita, pelo que esta deve ser multiplicada pelos dias que o respetivo mês possui.

O de PHP (€) a pagar consiste na potência média nas horas de ponta do respetivo mês multiplicado pelo valor de PHP estabelecido.

Com um sistema fotovoltaico para produção em regime de autoconsumo, a potência requisita à rede durante as horas de ponta será inferior, pelo que a potência ativa média neste período também diminuirá pelo que existirá uma redução no valor a pagar por esta parcela da fatura de energia elétrica.

O valor de potência contratada depende do valor de potência ativa máximo atingido durante o período de tempo a que a fatura de energia diz respeito independentemente do período horário pelo que o sistema fotovoltaico não terá qualquer influência na redução desta componente.

O facto das questões de confidencialidade impostas pela Continental em relação à partilha das faturas energéticas levou à necessidade de uma maior colaboração e contacto frequente e proativo com as empresas concorrentes de forma a elaborar a análise económica do investimento e respetiva comparação das propostas recebidas de forma mais direta.

Foram abordadas várias vertentes de investimento para a instalação do sistema fotovoltaico. A vertentes de investimento com capital próprio e na vertente de investimento através de capitais de terceiros em que funcionaria como um aluguer operacional na cobertura para instalação do sistema fotovoltaico.

Por dificuldade em encontrar uma solução que vá de encontro aos requisitos de retorno de investimento impostos pela Continental, o processo de análise de mercado e discussão das propostas com as empresas concorrentes para instalação de sistemas de produção fotovoltaica para autoconsumo continua a decorrer no momento da conclusão desta dissertação.

## 4 Conclusões

### 4.1 Conclusão

O correto dimensionamento de uma instalação elétrica é uma exigência necessária para a garantia das condições de segurança, seja das pessoas ou da própria instalação. Os riscos associados à utilização da energia elétrica são ainda maiores quando se fala de um ambiente industrial onde a simples atuação de um dispositivo de proteção implica enormes prejuízos relacionados com a paragem de produção, contudo, a não atuação de uma proteção no devido tempo pode ter consequências ainda mais devastadoras como a ignição de um incêndio ou o risco de eletrocussão devido a contactos indiretos.

Estando perante uma instalação elétrica com o esquema de ligação à terra do tipo TN sem diferenciais, o conhecimento profundo de toda a extensão da instalação elétrica é um requisito de forma a garantir que as pessoas estão protegidas contra contactos indiretos. O trabalho de levantamento da instalação elétrica revelou-se um desafio, tanto pela extensão e características da mesma, como pelos problemas encontrados.

O tipo de cargas que hoje em dia predominam nas indústrias são cargas não lineares, seja devido a conversores de frequência, o uso de UPS para salvaguardar as cargas críticas e até a iluminação LED, contribuem largamente para a diminuição da qualidade de energia introduzindo várias perturbações na instalação elétrica. Por este motivo, a escolha de um Esquema de Ligação à Terra indicado é hoje em dia ainda mais importante. Este tipo de perturbações impossibilitam o uso de diferenciais para garantir a proteção das pessoas, uma vez que as perturbações da rede podem levar à ocorrência de disparos intempestivos, ou até ao não funcionamento dos mesmos colocando as pessoas em risco. Por este motivo, o uso do esquema TN-S torna-se o mais indicado sendo de extrema importância a garantia da equipotencialização de todas as massas. Para efeitos de problemas de compatibilidade eletromagnética é sempre preferível o uso de uma Terra Única de baixa impedância no caso de instalações elétricas que possuam o seu próprio Posto de Transformação.

O processo de levantamento da instalação elétrica levou à obtenção de um profundo conhecimento das características da mesma, permitindo a deteção de uma série de problemas e não conformidades.



Este processo levou a que tenham sido tomadas medidas corretivas sempre que possível e deixadas recomendações ou sugestões para soluções nos casos em que não foi possível intervir durante o período de estágio.

O dimensionamento de instalações elétricas passa por um grande número de cálculos e consulta de várias tabelas pelo que se torna bastante consumidor de tempo e com uma grande probabilidade de cometer erros devido à extensão dos cálculos e a sua natureza repetitiva, pelo que o desenvolvimento da ferramenta de dimensionamento veio facilitar o levantamento da instalação e tratamento dos dados de modo a verificar as condições de proteção.

Além da verificação da conformidade da instalação atual, o desenvolvimento da ferramenta trouxe a possibilidade de verificar a conformidade das alimentações elétricas idealizadas de futuro o que se torna uma mais valia devido ao facto da constante evolução do layout produtivo da unidade fabril.

A segurança dos seus colaboradores é a principal prioridade da Continental, pelo que o trabalho desenvolvido veio contribuir para essa finalidade na medida em que o levantamento da instalação elétrica, verificação da sua conformidade e desenvolvimento de medidas corretivas são uma forma de mitigar os riscos associados à utilização da energia elétrica.

## **4.2 Componente académica**

O dimensionamento e exploração de instalações elétricas são uma área de trabalho que leva à necessidade de possuir conhecimentos profundos e muito abrangentes dentro da engenharia eletrotécnica.

Destacam-se as unidades curriculares de “Projetos de Instalações Elétricas” e “Instalações Elétricas Especiais” como fonte principal de conhecimentos necessários para as tarefas desenvolvidas no âmbito do levantamento e verificação da conformidade da instalação elétrica.

Como unidades curriculares de extrema importância no âmbito da exploração de instalações elétricas destacam-se também “Eletrónica de Potência” e “Qualidade de Serviço” em relação aos problemas de compatibilidade eletromagnética e qualidade de energia que são problemas cada vez mais comuns nas indústrias.

Na vertente da análise económica de investimentos e análise da viabilidade de um sistema fotovoltaico para autoconsumo as unidades curriculares de “Produção Distribuída” e “Energia e Desenvolvimento Sustentável” foram de extrema importância.

O desenvolvimento da dissertação de mestrado em ambiente empresarial tornou-se uma mais valia na consolidação dos conhecimentos adquiridos durante todo o percurso académico nas mais variadas áreas abordadas durante o estágio.

### **4.3 Trabalhos Futuros**

Com o desenvolvimento de uma ferramenta informática é natural o aparecimento de erros ou alguns aspetos que não tenham sido desenvolvidos da melhor maneira, isto verifica-se até com grandes multinacionais especializadas em desenvolvimento de *software*, que apesar de gastarem quantidades enormes de recursos em testes aos seus programas antes de os disponibilizarem ao público é inevitável o aparecimento de pequenos erros que necessitam nova intervenção para serem corrigidos. Deste modo, a ferramenta desenvolvida durante este estágio não é apresentada como uma versão final, mas sim uma base que se poderá desenvolver no futuro de modo a otimizar o seu funcionamento, corrigir erros e adicionar novas funcionalidades.

O trabalho de levantamento efetuado durante o estágio foi limitado a circuitos sem proteção diferencial e que garantem a proteção de pessoas contra contactos indiretos através de dispositivos de proteção contra sobreintensidades. Contudo, durante o estágio foram encontrados alguns problemas em circuitos e quadros parciais que, devido a conterem proteção diferencial, não foram incluídos no âmbito deste trabalho, pelo que será interessante olhar para o trabalho aqui desenvolvido apenas como uma primeira parte.

Como trabalhos a desempenhar na Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A, que não foram possíveis de efetuar durante o período deste estágio enumeram-se:

- Novo layout produtivo: distribuição das novas máquinas pelos quadros de distribuição existentes e dimensionamento das suas alimentações;
- Deslocação do PT1 e PT3 para a zona do PT4. Redimensionar todas as alimentações existentes e realocização dos quadros;
- Estudo para determinação das causas para o crescente nível de gases dissolvidos no óleo de transformadores;

- Análise da utilização de sistemas de correção de fator de potência em redes poluídas com elevada distorção harmónica;

## 5 Referências Documentais

- [1] Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (*RTIEBT*) – Decreto-Lei 226/2005, 28 de Dezembro e Portaria N° 949-A/2006, de 11 de Setembro;
- [2] Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (*RSSPTS*) -Decreto-Lei nº42895, de 31/03/1960, alterado pelo Dec. Regulamentar nº 14/77, de 18 de Fevereiro.
- [3] Electrical Installation Guide – According to IEC Standards – Schneider Electric - Edition 2016
- [4] Guía de protección diferencial Baja Tensión – Merlin Gerin 07/08
- [5] Earthing and bonding at secondary substations – Distribution construction manual section 4 – Substations – 1996
- [6] Cahier technique no.158 – Calculation of short circuit currents – Schneider Electric
- [7] Cahier technique no.83 – Extra losses caused in high current conductors by skin effect and proximity effects – Schneider Electric
- [8] RCD Nuisance Tripping: Who’s guilty and what needs to be done? – Vladimir Gurevich
- [9] Harmonics in power systems: Causes, effects and control – Design Engineering Low-Voltage Siemens Industry 2013
- [10] Cahier technique no.204 – LV protection devices and variable speed drives – Schneider Electric
- [11] Derating of distribution transformers for non-sinusoidal load currents – J.Faiz, M.B.B. Sharifian, S.A. Fakheri and E. Sabet-Marzooghi – Department of electrical and computer engineering, University of Tehran
- [12] Harmonics, Transformers and k-factors – Copper Development Association – publication 144, September 2000
- [13] MV/LV transformer substations: theory and examples of short-circuit calculation – Technical Application Papers – ABB – February 2008
- [14] IEEE C57.104-2008 – *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*
- [15] IEC 60364-7-712 - Requisitos para instalações elétricas especiais: Sistemas Fotovoltaicos.



## **6 Anexos**

### **6.1 Folhas de Dimensionamento Finais dos Circuitos Analisados**



Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	400
Potência (kVA)	1600
Ucc (%)	4
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0069174

## Folha de Dimensionamento do QGBT 1

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	I"z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação QGBT	1	TRF	QGBT 1	1450	15	2092,89	2100	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2112,4	0,50%	22634,1	35300,2	36,786	249,23	OK	Ok
OK	Gabinets Engenharia	2	QGBT 1	QE 30	24	50	34,64	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	1,76%	574,754	1628,36	2,228	61,33	OK	Ok
OK	Iluminação S1 Ramula	3	QGBT 1	QE 37	10	25	14,43	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,76%	1121,04	3113,12	0,586	61,33	OK	Ok
OK	Iluminação S1 Teares Circ.	4	QGBT 1	QE 38	10	55	14,43	40	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	1,08%	523,712	1486,56	2,684	61,33	OK	Ok
OK	Salão 1 piso -1 (Viscopor)	5	QGBT 1	QE 44	25	50	36,08	110	8	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	113,6	0,83%	1768,01	5920,07	4,089	90,66	OK	Ok
OK	Oficina	6	QGBT 1	QE 28	66	35	95,26	125	8	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	165,1	0,82%	3878,39	12897,5	3,399	136,30	OK	Ok
OK	Iluminação Tecelagem	7	QGBT 1	QE 36	10	15	14,43	125	8	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	135,9	0,53%	5459,48	17107,3	0,840	89,80	OK	Ok
OK	Escritórios	8	QGBT 1	QE 50	20	70	28,87	125	8	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	135,9	0,77%	1443,45	5920,07	12,023	89,80	OK	Ok
OK	Iluminação Vestiários	9	QGBT 1	QE 00	5	30	7,22	10	8	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,66%	941,976	2632,97	0,830	306,67	OK	Ok
OK	Sala Formação (Clece)	10	QGBT 1	QE 63	10	20	14,43	25	10	5G6	Multipolar	S/ESP	E	46,4	0,71%	1384,16	3807,45	0,384	98,13	OK	Ok
OK	Casa Compressores	11	QGBT 1	QE 43	300	60	433,01	550	10	XV 3(2x120) + 1(2x120)	Unipolar	TRI	F	575,5	1,26%	10520,6	21785,5	10,642	178,42	OK	Ok
OK	Volkman	12	QGBT 1	QE 116	111	110	160,21	630	10	XV 3(2x120) + 1(2x120)	Unipolar	TRI	F	669,2	1,02%	7275,67	16516,2	22,251	155,77	OK	Ok
OK	Tecelagem	13	QGBT 1	QE 35	200	35	288,68	450	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	479,8	0,85%	12095,1	24022,7	4,784	336,20	OK	Ok
OK	Lab.R&D	14	QGBT 1	QE 117	55	50	79,39	350	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	0,69%	7753,99	17355,8	4,898	280,38	OK	Ok
OK	Ramula	15	QGBT 1	QE113	250	70	360,84	450	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	479,8	1,37%	8252,54	18206,2	10,276	336,20	OK	Ok
OK	Lab PI	16	QGBT 1	QE 112	20	60	28,87	120	5	3x25+2G6	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,82%	765,827	5075,25	21,792	65,95	OK	Ok
OK	Q.Vestiários	17	QGBT 1	QE 42	20	30	28,87	100	8	3x25+2G50	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,66%	4399,16	8874,57	0,660	170,37	OK	Ok
OK	Ventilação PT1	18	QGBT 1	QVE	20	10	28,87	100	8	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	0,55%	7963,4	17716	0,202	127,78	OK	Ok
OK	Alimentação Volkman (x4)	19	QE 116	Volkman	30	60	43,30	100	5	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,49%	1597,94	4362	5,005	204,44	OK	Ok
OK	AC Lab Malhas	20	QE 116	AC Lab Malhas	5	40	7,22	64	5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	96,0	1,10%	1547,62	4232,23	2,186	204,44	OK	Ok
OK		21	QE 116	Urdideira	200	60	288,68	300	10	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	1,83%	4180,85	10450	16,846	163,56	OK	Ok
OK	Ramula Monforts	22	QE113	Ramula	97	25	140,01	350	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	360,3	1,54%	6113,69	14373,8	7,878	280,38	OK	Ok
OK	Teares Circulares	23	QE113	QE 114	35	90	50,52	160	5	XV 3(1x70) + 1(1x70)	Unipolar	TRI	F	252,1	1,70%	2612,36	6882,09	14,683	357,78	OK	Ok
OK	Lavador Gases Luwa	24	QE113	Lavador Gases	50	30	72,17	120	5	5G25	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,77%	2737,06	7179,81	1,706	170,37	OK	Ok
OK	Casa Secadores	25	QE 43	QDF 1.01.01	20	30	28,87	60	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	72,0	1,64%	1417,43	3894,31	1,018	68,15	OK	Ok
OK	Q.Ventilação Tecelagem	26	QE 35	QE 12	20	50	28,87	100	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	121,9	1,11%	1655,34	5488	4,664	79,78	OK	Ok
OK	Teares Direita	27	QE 35	Canalis Dir	75	30	108,25	160	5	3x70+2G35	Multipolar	S/ESP	E	236,2	1,08%	4684,09	13936,6	4,567	238,52	OK	Ok
OK	Teares Esquerda	28	QE 35	Canais Esq	75	30	108,25	160	5	3x70+2G4	Multipolar	S/ESP	E	236,2	1,08%	1124,42	13936,6	79,252	38,68	OK	Ok
OK	Baixada Tear	29	Canalis Dir	Tear x	8	10	11,55	16	5	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	30,7	1,28%	973,31	2833,42	0,135	127,78	OK	Ok





Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	420
Potência (kVA)	1600
Ucc (%)	6
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0098453

## Folha de Dimensionamento do QGBT 2

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét ref.	Iz fase (A)	I"z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Cond. ΔU	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação do QGBT	1	Transformador	QGBT 2	1247	20	1799,89	2000	5	XV 3(5x240) + 1(5x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2640,5	0,54%	17651	26297,7	94,510	490,67	OK	OK	Ok
OK	Antigo Q60	2	QGBT 2	QDF 2.01	624	60	900,67	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	1,57%	12886	22092,8	37,933	453,87	OK	OK	Ok
OK		3	QGBT 2	QDF 2.02	624	90	900,67	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	2,09%	11353	20457,2	48,865	453,87	OK	OK	Ok
OK	Antigo Q39	4	QGBT 2	QDF 2.03	692	125	998,82	1000	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	2,93%	9970,1	18830,9	63,367	453,87	OK	OK	Ok
OK		5	QDF 2.01	JingWei 6	100	57	144,34	304	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	1,96%	5894,3	12976,3	8,476	322,81	OK	OK	Ok
OK		6	QDF 2.01	JingWei 7	100	60	144,34	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	1,87%	7119,7	14930,7	13,807	378,22	OK	OK	Ok
OK		7	QDF 2.01	JingWei 8	100	43	144,34	400	5	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	513,4	1,79%	8233	16552,2	10,891	388,44	OK	OK	Ok
OK		8	QDF 2.01	SaurerAllma 1	20	36	28,87	150	5	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	158	158,0	1,71%	2529,8	8762,45	3,914	119,73	OK	OK	Ok
OK		9	QDF 2.01	SaurerAllma 5	20	24	28,87	175	5	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	192	192,0	1,64%	4605,4	12920,2	2,410	155,77	OK	OK	Ok
OK		10	QDF 2.01	Q.Vent Salão	15	15	21,65	120	5	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	F	158	135,9	1,62%	4762,6	13521,7	1,104	149,66	OK	OK	Ok
OK		11	QDF 2.02	ICBT 14	135	23	194,86	350	5	XV 3(1x150) + 1(1x150)	Unipolar	TRI	F	444	374,2	2,27%	8489,4	16906,8	6,384	350,48	OK	OK	Ok
OK		12	QDF 2.02	RITM 18	130	20	187,64	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,22%	9171,8	17819	8,320	378,22	OK	OK	Ok
OK		13	QDF 2.02	Oerlikon CC3	145	40	209,29	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,38%	7693,5	15783,5	11,824	378,22	OK	OK	Ok
OK		14	QDF 2.02	JingWei 9	120	40	173,21	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,33%	7693,5	15783,5	11,824	378,22	OK	OK	Ok
OK		15	QDF 2.03	JingWei 2	100	40	144,34	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,13%	7032,3	14797,4	14,152	378,22	OK	OK	Ok
OK		16	QDF 2.03	JingWei 3	100	15	144,34	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,01%	8619,7	17084,5	9,420	378,22	OK	OK	Ok
OK		17	QDF 2.03	JingWei 5	100	19	144,34	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,03%	8319,2	16672,2	10,112	378,22	OK	OK	Ok



## Folha de Dimensionamento do QGBT 3 e 4

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I"z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação QGBT 3	1	Transformador	QGBT 3	1600	20	2309,40	2500	5	XV 3(6x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3642	3168,5	0,67%	17403	26426,9	140,002	314,03	OK	Ok
OK	Alimentação QGBT 4	2	Transformador	QGBT 4	1600	20	2309,40	2500	5	XV 3(6x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3642	3168,5	0,67%	17403	26426,9	140,002	314,03	OK	Ok
OK	Distribuição PT2	3	QGBT 3	QDF 3.01	1500	55	2165,06	2200	6	XV 3(5x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2270,8	2,45%	14429	24444,7	141,430	278,79	OK	Ok
OK	Correção Fator Potência	4	QGBT 3	Q.CFP	225	25	324,76	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	499,8	0,95%	11955	21327,8	4,897	378,22	OK	Ok
OK	Distribuição PT2	5	QGBT 4	QDF 4.01	1500	55	2165,06	2200	6	XV 3(5x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2270,8	2,45%	14429	24444,7	141,430	278,79	OK	Ok
OK	Correção Fator Potência	6	QGBT 4	Q.CFP	225	25	324,76	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	499,8	0,95%	11955	21327,8	4,897	378,22	OK	Ok
OK	Alimentação Canalis A1	7	QDF 3.01	Canalis A1	600	30	866,03	870	10	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	2,98%	11432	22176,5	36,048	150,40	OK	Ok
OK	Alimentação Canalis A2	8	QDF 3.01	Canalis A2	600	30	866,03	870	10	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	2,98%	11432	22176,5	36,048	150,40	OK	Ok
OK	Centrais 3 e 4	9	QDF 3.01	QDF 3.01.01	100	50	144,34	200	10	3x70+2G35	Multipolar	S/ESP	E	246	211,6	2,98%	3610,9	11270,4	7,685	95,41	OK	Ok
OK	Q.Gerador	10	QDF 3.01	QDG 3.01.02	100	100	144,34	500	10	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	597,0	2,94%	5837,7	13133	21,662	155,38	OK	Ok
OK	Iluminação Zona Central 2	11	QDF 3.01	QDF 3.01.03	15	135	21,65	80	4	3x16+2G10	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	3,27%	455,59	1650,78	25,222	157,26	OK	Ok
OK	Ilum. Junto Monta cargas 3	12	QDF 3.01	QDL 3.01.05	15	50	21,65	99	8	3x16+2G10	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	2,75%	1167,4	3998,12	3,841	63,54	OK	Ok
OK	Monta Cargas 3	13	QDF 3.01	QDF 3.01.06	30	50	43,30	70	4	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	3,40%	963,14	2662,1	2,204	146,03	OK	Ok
OK	Alimentação Canalis A3	14	QDF 4.01	Canalis A3	600	50	866,03	870	8	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	3,33%	10042	20884,6	46,723	187,99	OK	Ok
OK	Alimentação Canalis A4	15	QDF 4.01	Canalis A4	600	50	866,03	870	8	XV 3(2x240) + 1(1x240)	Unipolar	TRI	F	1214	950,1	3,33%	10042	20884,6	46,723	187,99	OK	Ok
OK	Centrais 1 e 2	16	QDF 4.01	QDF 4.01.01	100	160	144,34	400	7	XV 3(2x120) + 1(2x70)	Unipolar	TRI	F	766	599,5	3,13%	4087,6	11690,5	70,494	258,25	OK	Ok
OK	Carregador Baterias Cave	17	QDF 4.01	QDF 4.01.02	100	70	144,34	230	7	3x70+2G35	Multipolar	S/ESP	E	246	246,0	3,19%	2777,8	9271,66	12,985	118,52	OK	Ok
OK	IluminaçãoSalão 2	18	QDF 4.01	QDF 4.01.03	15	135	21,65	80	4	3x16+2G10	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	3,27%	455,59	1650,78	25,222	157,26	OK	Ok
OK	Ilm. ICBT	19	QDF 4.01	QDF 4.01.04	15	50	21,65	99	8	3x16+2G10	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	2,75%	1167,4	3998,12	3,841	63,54	OK	Ok
OK	Monta Cargas 2	20	QDF 4.01	QDF 3.01.06	30	50	43,30	70	4	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	3,40%	963,14	2662,1	2,204	146,03	OK	Ok
OK		21	Canalis A1	ICBT 15	80	15	115,47	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,06%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		22	Canalis A1	ICBT 2	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,14%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		23	Canalis A1	ICBT 13	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,14%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		24	Canalis A2	ICBT 7	80	15	115,47	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,06%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		25	Canalis A2	ICBT 9	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,14%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		26	Canalis A2	ICBT 10	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,14%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		27	Canalis A2	ICBT 8	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,14%	8952,9	18705,2	3,674	350,48	OK	Ok
OK		28	Canalis A3	ICBT 6	80	15	115,47	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,41%	8077	17777,6	4,514	350,48	OK	Ok
OK		29	Canalis A3	ICBT 5	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,50%	8077	17777,6	4,514	350,48	OK	Ok
OK		30	Canalis A4	ICBT 4	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,50%	8077	17777,6	4,514	350,48	OK	Ok
OK		31	Canalis A4	ICBT 3	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,50%	8077	17777,6	4,514	350,48	OK	Ok
OK		32	Canalis A4	ICBT 1	160	15	230,94	280	5	5G120	Multipolar	ESP	E	346	297,6	3,50%	8077	17777,6	4,514	350,48	OK	Ok
OK		33	Canalis A4	Verdol UT60	160	15	230,94	280	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	3,45%	8673,3	18758,1	9,304	540,32	OK	Ok



Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	420
Potência (kVA)	2000
Ucc (%)	6
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0085252

## Folha de Dimensionamento do QGBT 5

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I²z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação do QGBT	1	Transformador	QGBT 5	1200	20	1732,05	2000	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	2112,4	0,55%	19115	29979,6	51,580	261,69	OK	Ok
OK		2	QGBT 5	Q. Zell	200	60	288,68	1800	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	1816,6	0,83%	14188	26638,1	93,626	290,77	OK	Ok
OK		3	QGBT 5	Q8	700	30	1010,36	1100	5	XV 3(3x185) + 1(3x185)	Unipolar	TRI	F	1530	1144,7	1,13%	15926	27045,5	24,834	412,61	OK	Ok
OK		4	QGBT 5	QP1	346	10	499,41	630	5	XV 3(2x185) + 1(2x185)	Unipolar	TRI	F	1020	798,3	0,67%	17375	28437,1	9,273	480,28	OK	Ok
OK		5	Q8	Oerlikon CC3 nº5	170	70	245,37	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	1,73%	7346,5	16049,8	12,967	378,22	OK	Ok
OK		6	Q8	ICBT 17	150	90	216,51	270	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,23%	4058,7	9960,34	11,203	287,74	OK	Ok
OK		7	Q8	ICBT 12	150	100	216,51	270	5	XV 3(1x95) + 1(1x95)	Unipolar	TRI	F	328	276,4	2,36%	3748,3	9307,07	13,135	287,74	OK	Ok
OK		8	Q8	ICBT 16	150	125	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,07%	5161,7	12164,1	26,268	378,22	OK	Ok
OK		9	Q8	ICBT 11	150	135	216,51	400	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	2,14%	4897	11651,2	29,185	378,22	OK	Ok
OK		10	QP1	C1 - Lab Quimico	15	50	21,65	25,2	4,5	5G4	Multipolar	S/ESP	F	42	40,3	1,84%	403,23	1146,79	2,012	144,23	OK	Ok
OK		11	QP1	C2 - EPTARI	17	90	24,54	25,2	4,5	5G4	Multipolar	S/ESP	F	42	40,3	3,06%	226,35	648,731	6,386	144,23	OK	Ok
OK		12	QP1	C3 - Prensa Sucata	25	55	36,08	70	4,5	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	72,0	1,54%	890,14	2479,09	2,581	129,81	OK	Ok
OK		13	QP1	C5 - Q.Cmd.Solutos	25	50	36,08	50	4,5	5G6	Multipolar	S/ESP	E	54	51,8	1,97%	597,91	1686,18	2,059	109,04	OK	Ok
OK		14	QP1	C6 - Torre Arrefecimento	25	70	36,08	160	6,5	5G50	Multipolar	S/ESP	E	192	184,3	0,91%	3040,8	7758,49	5,529	196,58	OK	Ok
OK		15	QP1	C7 - Prensa Lab	25	60	36,08	50	4,5	5G6	Multipolar	S/ESP	E	54	51,8	2,24%	501,13	1419,18	2,931	109,04	OK	Ok
OK		16	QP1	C8 - Q84	25	15	36,08	92	4,5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	96,0	0,82%	4180	10211,6	0,300	158,02	OK	Ok
OK		17	QP1	C9 - Q83	25	15	36,08	70	4,5	3x16+2G10	Multipolar	S/ESP	E	100	96,0	0,82%	3404,4	10211,6	0,452	159,76	OK	Ok
OK		18	QP1	C10 - Lab.Textil	25	50	36,08	40	4,5	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	40,3	2,62%	403,23	1146,79	2,012	90,86	OK	Ok
OK		19	QP1	C14 - Lab Quimico	15	50	21,65	25,2	4,5	5G4	Multipolar	S/ESP	F	42	40,3	1,84%	403,23	1146,79	2,012	144,23	OK	Ok
OK		20	QP1	C15 - Q.Vent PT3	10	10	14,43	25	4,5	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32	30,7	0,91%	1200,9	3300,84	0,089	90,86	OK	Ok
OK		21	QP1	C16 - Vent. Sala Cmd Zell	25	60	36,08	50	4,5	5G6	Multipolar	S/ESP	E	54	51,8	2,24%	501,13	1419,18	2,931	109,04	OK	Ok
OK		22	QP1	C17 - Revistadeira Protec	25	60	36,08	40	4,5	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	40,3	3,01%	337,33	962,122	2,875	90,86	OK	Ok
OK		23	Q. Zell	Alimentação motor - (DN)	15	100	21,65	32	5	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	40,3	3,17%	203,45	584,381	7,905	102,22	OK	Ok



Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	420
Potência (kVA)	1600
Ucc (%)	6
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0098453

Folha de Dimensionamento do QGBT 6

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I°z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação do QGBT	1	Transformador	QGBT 6	1400	20	2020,73	2100	5	XV 3(4x240) + 1(2x240)	Unipolar	TRI	F	2428	2112,4	0,64%	16812,7	26106,2	66,672	OK	Ok
OK	In= 630 x 0,8 = 504	2	QGBT 6	Single End	100	100	144,34	504	6	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	513,4	1,13%	6192,88	13598	19,248	OK	Ok
OK	In= 400 x 0,5 x 0,8 = 160 A	3	QGBT 6	SAHM	40	100	57,74	160	6	5G50	Multipolar	S/ESP	E	192	165,1	1,20%	2236,8	5807,24	10,218	OK	Ok
OK	In= 630 x 0,5 x 0,95 = 299 A	4	QGBT 6	Jing Wei nº 1	160	150	230,94	299,3	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314,32	8197,48	26,807	OK	Ok
OK	In = 320 x 0,94 = 301	5	QGBT 6	Oerlikon nº 4	160	150	230,94	300,8	4	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	335,7	2,28%	3314,32	8197,48	26,807	OK	Ok
OK	In = 320 x 0,94 = 301	6	QGBT 6	Jing Wei nº 4	160	150	230,94	300,8	4	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314,32	8197,48	26,807	OK	Ok
OK	In= 630 x 0,5 x 0,95 = 299 A	7	QGBT 6	Oerlikon nº 2	160	150	230,94	299,3	5	XV 3(1x120) + 1(1x120)	Unipolar	TRI	F	383	322,8	2,28%	3314,32	8197,48	26,807	OK	Ok
OK	In= 630 x 0,7 x 0,93 = 410 A	8	QGBT 6	Oerlikon nº 1	160	150	230,94	410,1	6	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	429,8	1,84%	4616,61	10800,7	32,837	OK	Ok
OK	In= 100 x 0,63 * 0,98 = 61 A	9	QGBT 6	AVAC	25	100	36,08	61,74	4	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	64,5	2,23%	500,647	1412,88	8,158	OK	Ok
OK	In= 100 x 0,63 * 0,98 = 61 A	10	QGBT 6	Oficina Zell	25	100	36,08	61,74	4	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	64,5	2,23%	500,647	1412,88	8,158	OK	Ok





## Folha de Dimensionamento dos circuitos alimentados pelo grupo gerador em alimentação Socorrida

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIn)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I"z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Q.Gerador	1	Gerador	QDG	150	6	216,51	250	5	XV 3(1x185) + 1(1x185)	Unipolar	TRI	F	510	499,8	0,04%	1824,9	2658,13	210,158	605,16	OK	Ok
NOK	Q. dentro PT2	2	QDG	QE85	70	50	101,04	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	0,97%	911,7	1907,69	15,376	63,83	NOK	Ok
NOK	UPS PT1	3	QDG	QE76	30	120	43,30	63	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	1,00%	536,12	1367,29	44,467	126,64	NOK	Ok
OK	Furo Artesiano nº2	4	QDG	Furo 2	10	30	14,43	25	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	0,51%	464,16	1073,93	1,519	65,42	OK	Ok
NOK	Iluminação	5	QDG	QE002	25	55	36,08	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	0,92%	579,36	1276,86	6,092	64,90	NOK	Ok
OK	Armazem Material Incendio	6	QDG	Armazem Incendio	8	20	11,55	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32	32,0	0,44%	442,18	1032,89	0,654	63,89	OK	Ok
OK	Hidropressor Incendio	7	QDG	Q.Hidrop.Incendio	55	10	79,39	125	10	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	158	158,0	0,15%	1549,2	2516,7	10,438	71,84	OK	Ok
NOK	Cantina	8	QDG	Cantina	70	40	101,04	160	10	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	192	192,0	0,44%	1242,2	2296,74	33,130	85,19	NOK	Ok
NOK	Ventilação PT2	9	QE85	Vent PT2	30	25	43,30	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	1,45%	612,62	1410,08	5,449	64,90	NOK	Ok
OK	Alimentação ETA	10	QE85	ETA	30	70	43,30	63	5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	1,82%	491,66	1179,36	21,657	207,69	OK	Ok
OK	Armz. Materias Primas	11	QE85	QE26	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	1,59%	434,46	1063,37	27,733	204,44	OK	Ok
OK	Armz. Produtos Acabados	12	QE85	QE24	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	1,59%	434,46	1063,37	27,733	204,44	OK	Ok
NOK	Quadro dentro PT3	13	QE85	QE82	35	120	50,52	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	2,08%	414,23	1137,19	74,486	63,83	NOK	Ok
NOK	Quadro atrás QGBT 1	14	QE85	QE 68	5	120	7,22	60	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	1,35%	272,69	708,155	27,500	68,15	NOK	Ok
NOK	Iluminação e Aux.	15	QE82	Subestação	3	140	4,33	63	10	5G6	Multipolar	S/ESP	D	66	63,4	2,52%	134,92	383,746	40,443	38,94	NOK	Ok
NOK	Piso 2 Estufa 1	16	QE82	Q. Ilumin Zell	10	40	14,43	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	68,3	2,33%	305,73	850,818	21,878	64,90	NOK	Ok
NOK	Ilumin. Oficina Zell	17	QE82	QE15	8	30	11,55	63	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	2,45%	248,72	697,195	5,289	25,96	NOK	NOK
NOK	Q. Iluminação PT4	18	QE82	QE Ilumin PT4	1	45	1,44	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32	32,0	2,19%	159,5	452,232	5,024	63,89	NOK	Ok
NOK	Q. Iluminação Single End	19	QE82	QE 14	12	45	17,32	40	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	2,92%	207,31	584,182	7,613	40,89	NOK	Ok



Dados da Rede a Montante	
Scc da rede MT (MVA)	60
Média Tensão (V)	15000
Baixa Tensão (V)	420
Potência (kVA)	1600
Ucc (%)	6
P perdas (W)	15000
Z total (ohm)	0,0098453

Folha de Dimensionamento dos circuitos alimentados pelo grupo gerador em alimentação Normal

Estado	Descrição	Nº	Origem	Destino	Pot. (kVA)	L (m)	Ib fase (A)	Reg. In (A)	Imag (xIN)	Cabo	Tipo cabo	Instalação	Mét. ref.	Iz fase (A)	I'z fase (A) corrigido	DU Total (%)	Icc min (A)	Icc máx trif. (A)	Tempo Fadiga (s)	Lmax (m)	Icc min > Im	Cond Ib<In<Iz
OK	Alimentação QGBT 4	1	Transformador	QGBT 4	1600	20	2309,40	2500	5	XV 3(6x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3642	3168,5	0,67%	17403	26426,9	140,002	314,03	OK	Ok
OK	Distribuição PT2	2	QGBT 4	QDF 4.01	1500	55	2165,06	2200	6	XV 3(5x240) + 1(3x240)	Unipolar	TRI	F	3035	2270,8	2,45%	14429	24444,7	141,430	278,79	OK	Ok
OK	Q.Gerador	3	QDF 4.01	QDG	115	100	165,99	500	10	XV 3(2x95) + 1(2x95)	Unipolar	TRI	F	656	597,0	3,02%	5837,7	13133	21,662	155,38	OK	Ok
OK	Q. dentro PT2	4	QDG	QE85	70	50	101,04	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	3,94%	1497,2	4761,05	5,701	63,83	OK	Ok
OK	UPS PT1	5	QDG	QE76	30	120	43,30	63	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	3,97%	733,61	2515,79	23,748	126,64	OK	Ok
OK	Furo Artesiano nº2	6	QDG	Furo 2	10	30	14,43	25	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	3,48%	615,48	1729,37	0,864	65,42	OK	Ok
OK	Iluminação	7	QDG	QE002	25	55	36,08	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	3,89%	808,3	2250,47	3,130	64,90	OK	Ok
OK	Armazem Material Incendio	8	QDG	Armazem Incendio	8	20	11,55	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32	32,0	3,41%	580,84	1634,74	0,379	63,89	OK	Ok
OK	Hidroressor Incendio	9	QDG	Q.Hidrop.Incendio	55	10	79,39	125	10	3x35+2G16	Multipolar	S/ESP	E	158	158,0	3,12%	3852,9	10496,3	1,687	71,84	OK	Ok
OK	Cantina	10	QDG	Cantina	70	40	101,04	160	10	3x50+2G25	Multipolar	S/ESP	E	192	192,0	3,41%	2476,2	7710,02	8,338	85,19	OK	Ok
OK	Ventilação PT2	11	QE85	Vent PT2	30	25	43,30	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	4,42%	867,77	2649,67	2,716	64,90	OK	Ok
OK	Alimentação ETA	12	QE85	ETA	30	70	43,30	63	5	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	4,79%	659,74	1988,35	12,027	207,69	OK	Ok
OK	Armz. Materias Primas	13	QE85	QE26	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	4,56%	568,83	1704,7	16,179	204,44	OK	Ok
OK	Armz. Produtos Acabados	14	QE85	QE24	17	90	24,54	32	10	5G16	Multipolar	S/ESP	E	100	100,0	4,56%	568,83	1704,7	16,179	204,44	OK	Ok
NOK	Quadro dentro PT3	15	QE85	QE82	35	120	50,52	125	10	3x25+2G16	Multipolar	S/ESP	E	127	127,0	5,05%	537,71	1881,88	44,203	63,83	NOK	Ok
NOK	Quadro atrás QGBT 1	16	QE85	QE 68	5	120	7,22	60	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	75,0	4,32%	334,07	986,776	18,323	68,15	NOK	Ok
NOK	Iluminação e Aux.	17	QE82	Subestação	3	140	4,33	63	10	5G6	Multipolar	S/ESP	D	66	63,4	5,49%	156,7	477,674	29,980	38,94	NOK	Ok
NOK	Piso 2 Estufa 1	18	QE82	Q. Ilumin Zell	10	40	14,43	63	10	5G10	Multipolar	S/ESP	E	75	68,3	5,30%	379,52	1251,3	14,197	64,90	NOK	Ok
NOK	Ilumin. Oficina Zell	19	QE82	QE15	8	30	11,55	63	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	5,42%	301,82	967,6	3,592	25,96	NOK	NOK
NOK	Q. Iluminação PT4	20	QE82	QE Ilumin PT4	1	45	1,44	16	10	5G2,5	Multipolar	S/ESP	E	32	32,0	5,16%	186,99	575,895	3,655	63,89	OK	Ok
NOK	Q. Iluminação Single End	21	QE82	QE 14	12	45	17,32	40	10	5G4	Multipolar	S/ESP	E	42	42,0	5,89%	247,53	778,491	5,340	40,89	NOK	Ok

